



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

CONSOLIDAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO PARA A DISCIPLINA DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS - CHAVES

Rafael Cesar Medeiros Soares

Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Jorge Nemésio Sousa, M. Sc.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2012

CONSOLIDAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO PARA A DISCIPLINA DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS - CHAVES

Rafael Cesar Medeiros Soares

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Examinada por:

Prof. Jorge Nemésio Sousa, M. Sc.

(Orientador)

Prof. Antonio Carlos Siqueira de Lima, D. Sc.

Prof. Jorge Luiz do Nascimento, D. Eng..

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

FEVEREIRO DE 2012

Soares, Rafael Cesar Medeiros

Consolidação de Material Didático para a Disciplina de Equipamentos Elétricos - Chaves / Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica / Departamento de Engenharia Elétrica, 2012.

XII, 120 p.: il. 29,7 cm.

Orientador: Jorge Nemésio Sousa

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Departamento de Engenharia Elétrica, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 102-104

1. Chaves. 2. Equipamentos de Manobra. 3. Secionadores 4. Equipamentos Elétricos.

I. Nemésio Sousa, Jorge. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. III. Escola Politécnica. IV. Departamento de Engenharia Elétrica. V. Título

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Consolidação de Material Didático para a Disciplina de Equipamentos Elétricos - Chaves

Rafael Cesar Medeiros Soares

Fevereiro / 2012

Orientador: Jorge Nemésio Sousa

Curso: Engenharia Elétrica

Este trabalho visa reunir em um só documento todas as informações práticas necessárias para a especificação de chaves em sistemas elétricos. Sua função principal é fornecer aos estudantes de Engenharia Elétrica material didático suficiente para compreender o funcionamento deste tipo de equipamento, conhecer suas características e modelos além de capacitar os estudantes a dimensionar e determinar a chave adequada para cada tipo de instalação.

Dentre os tópicos abordados nesse material, podem-se destacar as diferenças entre os tipos de chaves elétricas, suas principais características, suas funções, modos de operação, modelos, acessórios, circuitos de controle, principais fabricantes, suas vantagens e desvantagens, o fornecimento de valores normatizados e os meios de dimensioná-las e selecioná-las para determinada aplicação.

As informações contidas neste trabalho foram coletadas da literatura vigente sobre o assunto, notas de aulas, publicações de fabricantes e sites especializados.

Palavras-Chave: 1. Chaves Elétricas. 2. Dispositivos de Manobra. 3. Seccionadores. 4. Equipamentos Elétricos.

Abstract of Undergraduate Project presented to Poli/UFRJ as a partial fulfillment of requirements for the Degree of Electrical Engineer.

Consolidation of Educational Material for the Electrical Equipment Discipline – Disconnecter Switches

Rafael Cesar Medeiros Soares

February / 2012

Advisor: Jorge Nemésio Sousa

Department: Electrical Engineering

This work aims to summarize most of the practical information needed for a specification of disconnecter switches on electrical systems. Its main function is to provide an educational material that helps understanding the operation of such equipment, based on the knowledge of their basic characteristics.

Among the topics covered in this material, one can highlight the differences between the types of disconnecter switches such as, their main features, functions, operating modes, models, accessories, control circuits, leading manufacturers, advantages and disadvantages. It also provides some information regarding standardized values and selection for a particular application.

Most of the information contained in this document is based on the technical literature available.

Keywords: 1. Switches. 2. Switchgear equipment. 3. Disconnectors. 4. Electrical Equipment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 Contatos [7]	12
Figura 4-2 Base [7]	12
Figura 4-3 Colunas Isolantes [7]	13
Figura 4-4 Lâmina principal [7].....	14
Figura 5-1 Chaves seccionadoras [6]	16
Figura 5-2 Chave de terra [35]	17
Figura 5-3 Chave de terra [34]	18
Figura 5-4 Circuito de intertravamento [7]	19
Figura 5-5 Circuito de operação de uma chave de aterramento rápido [6]	20
Figura 5-6 Chave de operação em carga [6]	21
Figura 5-7 Chaves de operação em carga em linhas de transmissão [21]	22
Figura 5-8 Chaves integradas com disjuntores [20]	24
Figura 6-1 Chave de abertura vertical (ANSI [26] tipo A / ABNT [16] tipo AV) [7]	26
Figura 6-2 Chave de abertura vertical montada horizontalmente [34]	26
Figura 6-3 Chave de abertura vertical, montadas horizontalmente, com mecanismo de abertura em grupo [29].	27
Figura 6-4 Chave com dupla abertura lateral (ANSI [26] tipo B / ABNT [16] tipo DA) [7]	28
Figura 6-5 Chave de dupla abertura lateral montada horizontalmente [35]	28
Figura 6-6 Chave de dupla abertura lateral [36]	29
Figura 6-7 Chave de dupla abertura lateral [27]	29
Figura 6-8 Chave basculante (ANSI [26] tipo C)	30
Figura 6-9 Chave basculante	30
Figura 6-10 Chave com abertura lateral (ANSI [26] tipo D / ABNT [16] tipo AL) [7]	31
Figura 6-11 Chave de abertura lateral [33].....	31
Figura 6-12 Chave de abertura lateral [35].....	32
Figura 6-13 Chave com abertura central (ANSI [26] tipo E / ABNT [16] tipo AC) [7].....	33
Figura 6-14 Chave de abertura central montada horizontalmente [29].....	33
Figura 6-15 Chave de abertura central [30].....	34
Figura 6-16 Chave basculante simplificada (ANSI [26] tipo F) [6].....	34
Figura 6-17 Chave basculante simplificada.....	35
Figura 6-18 Lâmina de terra (ANSI [26] tipo G / ABNT [16] tipo LT) [7]	36
Figura 6-19 Chave com acionamento direto – operação com vara (ANSI [26] tipo H) [6]	37
Figura 6-20 Chave de acionamento direto - operação com vara montada verticalmente.	37

Figura 6-21 Chave com abertura vertical reversa (ANSI [26] tipo J / ABNT [16] tipo VR) [32]	38
Figura 6-22 Chave com abertura vertical reversa [35].....	39
Figura 6-23 Chave com fechamento central do tipo V (ANSI [26] tipo V)	40
Figura 6-24 Chave de dupla abertura rotativa em V [31].....	40
Figura 6-25 Chave de dupla abertura rotativa em “V” [28].....	41
Figura 6-26 Chave com abertura semipantográfica horizontal (ABNT [16] tipo SH) [32]	42
Figura 6-27 Chave semipantográfica horizontal com operários realizando manutenção [28]	42
Figura 6-28 Chave semipantográfica horizontal [29]	43
Figura 6-29 Chave com abertura semipantográfica vertical (ABNT [16] tipo SV) [32].....	44
Figura 6-30 Chave semipantográfica vertical com coluna superior [34].....	44
Figura 6-31 Chave pantográfica [6].....	45
Figura 6-32 Chave pantográfica [34].....	45
Figura 6-33 Chave pantográfica com coluna superior [34]	46
Figura 6-34 Chaves pantográficas em abertura com arco.....	46
Figura 6-35 Montagem tipo horizontal [6].....	47
Figura 6-36 Montagem tipo horizontal invertida [6].....	47
Figura 6-37 Montagem tipo horizontal sobreposta [6]	48
Figura 6-38 Montagem tipo lateral sobreposta [6]	48
Figura 6-39 Montagem tipo vertical [6].....	49
Figura 6-40 Chave com acionamento direto [6].....	50
Figura 6-41 Chaves com acionamento em grupo [6].....	50
Figura 6-42 Chaves com acionamento automático [6]	51
Figura 6-43 Alguns tipos de dispositivos para restringir arcos. [6].....	53
Figura 6-44 ‘Chifres’ [7].....	54
Figura 6-45 ‘Chifres’ [37].....	54
Figura 6-46 Dispositivo de intertravamento mecânico [7].....	55
Figura 6-47 Painel com um mecanismo motorizado [7].....	56
Figura 8-1 Circuito de controle do motor completo [30]	60
Figura 8-2 Circuito de controle de um único motor [30]	61
Figura 8-3 Circuito completo de aquecimento, iluminação e tomada. [30].....	63
Figura 8-4 Circuito de controle de aquecimento, iluminação e tomada individual [30].	64
Figura 8-5 Dispositivo de bloqueio eletromecânico para operação manual de emergência do mecanismo de operação mecanizado [30]	66
Figura 8-6 Circuito de bloqueio [30]	66
Figura 8-7 Circuito unifilar de bloqueio eletromecânico [30]	67
Figura 8-8 Circuito de comando completo [30].....	68

Figura 8-9 Circuito de Intertravamento [30]	70
Figura 8-10 Circuito Local/Remoto [30]	71
Figura 8-11 Circuito de comando [30]	72
Figura 8-12 Sinalização do seccionador [30]	74
Figura 8-13 Circuito de alarme de sobrecarga do motor [30]	75
Figura 8-14 Circuito de alarme de falta de fase no circuito do motor [30]	75
Figura 8-15 Circuito de sinalização do disjuntor do circuito de comando desligado [30]	76
Figura 8-16 Circuito de sinalização do disjuntor do circuito do motor desligado [30]	76
Figura 8-17 Circuito de sinalização de discordância de polos [30]	77
Figura 8-18 Circuito de sinalização Local / Remoto [30]	77
Figura 9-1 Corrente de curto-circuito simétrica e assimétrica [6]	86
Figura 9-2 Exemplo da aplicação dos esforços mecânicos nos terminais de carga de uma chave seccionadora de duas colunas [6]	92
Figura 9-3 Exemplo da aplicação dos esforços mecânicos nos terminais de carga de uma chave seccionadora pantográfica [6]	93
Figura 9-4 Terminais de cargas com suas respectivas forças de atuação [26]	94
Figura A1-1 Esquemas de contato das chaves [6]	106
Figura A1-2 Curvas de ensaio de tensão de impulso atmosférico [6]	10610
Figura A3-1 Vista frontal com a porta externa aberta [30]	118
Figura A3-2 Vista frontal com a porta interna aberta [30]	119
Figura A3-3 Vista lateral esquerda sem tampa de proteção [30]	120
Figura A3-4 Corte C-C [30]	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 9-1 Valores de tensão nominal para Range I (ABNT [16] / IEC [25])	78
Tabela 9-2 Valores de tensão nominal para Range II (ABNT [16] / IEC [25])	78
Tabela 9-3 Valores de tensão nominal para instalações abrigadas e desabrigadas (ANSI [26])	78
Tabela 9-4 Valores de níveis de isolamento para valores de tensões do Range I, Série I (ABNT [16] / IEC [25])	79
Tabela 9-5 Valores de níveis de isolamento para valores de tensões do Range I, Série II (ABNT [16] / IEC [25])	80
Tabela 9-6 Valores de níveis de isolamento para tensões do Range II (ABNT [16] / IEC [25])	80
Tabela 9-7 Valores de níveis de isolamento para instalações desabrigadas (ANSI [26])	81
Tabela 9-8 Valores de níveis de isolamento para instalações desabrigadas. (ANSI [26])	82
Tabela 9-9 Valores nominais de frequência (ABNT [16] / IEC [25] / ANSI [26])	83
Tabela 9-10 Valores nominais de corrente (ABNT [16] / IEC [25])	84
Tabela 9-11 Valores nominais de corrente (ANSI [26])	84
Tabela 9-12 Limites de temperatura especificados (ABNT [16] / IEC [25])	84
Tabela 9-13 Valores de correntes suportáveis de curta duração (ABNT [16] / IEC [25])	87
Tabela 9-14 Valores de correntes suportáveis de curta duração (ANSI [26])	87
Tabela 9-15 Tensão contínua nominal de alimentação dos elementos auxiliares (ABNT [16] / IEC [25])	89
Tabela 9-16 Tensão alternada nominal de alimentação dos elementos auxiliares (ABNT [16] / IEC [25])	89
Tabela 9-17 Valores de pressão nominais para sistemas de acionamento (ABNT [16] / IEC [25])	90
Tabela 9-18 Zonas de contato recomendadas para contos fixos suportados por condutores flexíveis (ABNT [16] / IEC [25])	90
Tabela 9-19 Zonas de contato recomendadas para contos fixos suportados por condutores rígidos (ABNT [16] / IEC [25])	91
Tabela 9-20 Carga estática recomendável para os terminais de carga (ABNT [16] / IEC [25])	93
Tabela 9-21 Carga estática recomendável para os terminais de carga (ANSI [26])	94
Tabela 9-22 Valores normatizados para as correntes e tensões de indução para chaves de terra (ABNT [16] / IEC [25])	95
Tabela A1-1 Esquemas de conexões [25]	107

Tabela A1-2 Esquemas de conexões [6]	
Tabela A1-2 Esquemas de conexões [6].....	10714
Tabela A2-1 Tabela para seleção de chaves pela norma ANSI [26]	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	grau Celsius – Unidade de temperatura
Ω	Ohm – Unidade de resistência
A	Ampère – Unidade de corrente elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC ou CA	Corrente alternada
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
atm	Atmosfera – Unidade de pressão
bar	Bar – Unidade de pressão correspondente a 0,987 atm
DC ou CC	Corrente contínua
HP	<i>Horse Power</i> – Unidade de medida de potência correspondente a 745,7 W
Hz	Hertz – Unidade de frequência
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
K	grau Kelvin – Unidade para a grandeza temperatura termodinâmica
M	Metro – unidade de distância
NBR	Sigla de Norma Brasileira aprovada pela ABNT
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre
TTR ou TRV	Tensão transitória de restabelecimento
V	Volt – Unidade de tensão elétrica
W	Watt – Unidade de medida de potência
Lbs	Libras – Unidade de medida de pressão

LISTA DE ANEXOS

ANEXOS	105
ANEXO 1 – ENSAIOS.....	106
ANEXO 2 – TABELA ANSI [26]	116
ANEXO 3 – <i>LAY-OUT</i> DAS CAIXAS DOS CIRCUITOS DE CONTROLE	118

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Proposta	1
1.2. Motivação	1
1.3. Objetivo do Estudo	1
1.4. Relevância do Estudo	1
1.5. Limitações do Estudo	2
1.6. Organização do Estudo	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	6
3.1. Introdução	6
3.2. Etapas da Pesquisa	6
3.3. Definição de Pesquisa.....	6
3.4. Caracterização da Pesquisa.....	6
4. CHAVES	9
4.1. Introdução	9
4.2. Principais Características.....	10
5. TIPOS DE CHAVES.....	15
5.1. Chaves Seccionadoras	15
5.2. Chaves de Terra ou de Aterramento	17
5.3. Chaves de Aterramento Rápido	19
5.4. Chaves de Operação em Carga.....	20
5.5. Chaves de Operação em Carga em Linhas de Transmissão	22
5.6. Chaves Integradas com Disjuntores.....	23
6. CLASSIFICAÇÃO DAS CHAVES SECCIONADORAS	25
6.1. Tipo de Abertura.....	25
6.2. Tipo de Instalação	46
6.3. Tipo de Montagem	47
6.4. Tipo de Acionamento	49
6.5. Acessórios.....	52
7. OPERAÇÃO	57
7.1. Manobra	57
7.2. Ciclo de Manobras	57
7.3. Manobra de Fechamento	57
7.4. Manobra de Abertura	57
7.5. Manobra Realizada com Sucesso	57
7.6. Manobra Manual Dependente	57

7.7.	Manobra com Acumulação de Energia	57
7.8.	Manobra Manual Independente.....	58
7.9.	Posição Fechada.....	58
7.10.	Posição Aberta.....	58
7.11.	Dispositivo de Intertravamento.....	58
8.	CIRCUITOS DE CONTROLE	59
8.1.	Circuito de Controle do Motor.....	59
8.2.	Circuito de Controle de Aquecimento, Iluminação e Tomada	62
8.3.	Circuito de Controle de Bloqueio.....	65
8.5.	Circuito de Sinalização.....	73
9.	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS – CARACTERÍSTICAS NOMINAIS DOS SECCIONADORES E CHAVES DE TERRA.....	78
9.1.	Tensão Nominal	78
9.2.	Nível de Isolamento.....	78
9.3.	Frequência Nominal	83
9.4.	Corrente Nominal e Temperatura.....	83
9.5.	Corrente Nominal de Curto Circuito	86
9.6.	Tensão Nominal de Alimentação dos Equipamentos de Fechamento e Abertura e dos Circuitos Auxiliares e de Controle	88
9.7.	Frequência Nominal de Alimentação dos Equipamentos de Fechamento e Abertura e dos Circuitos Auxiliares.....	90
9.8.	Pressão Nominal do Sistema de Acionamento à Gás Comprimido para Isolamento e/ou Operação.....	90
9.9.	Valores Nominais para as Zonas de Contato.....	90
9.10.	Esforços Mecânicos Nominais nos Terminais.....	91
9.11.	Capacidade de Suportar a Corrente de Transferência de Barramento para Chaves Seccionadoras.....	95
9.12.	Capacidade de Suportar a Corrente Indutiva de Transferência para Chaves de Terra	95
10.	MANUAL PARA SELEÇÃO DE CHAVES	97
10.1.	Introdução	97
10.2.	Seleção dos Valores Nominais para Condições Normais de Serviço pela ABNT	97
10.3.	Seleção pela Norma ANSI	100
11.	CONCLUSÃO	101
12.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
ANEXOS	105	
ANEXO 1 – ENSAIOS.....	106	

1. INTRODUÇÃO	106
2. ENSAIOS DE TIPO	107
2.1. Ensaio de Tensão Aplicada à Frequência Industrial	107
2.2. Ensaio de Tensão Suportável de Impulso Atmosférico	109
2.3. Ensaio de Tensão Suportável de Impulso de Manobra	110
2.4. Ensaio de Nível de Rádio Interferência (RVI) e Corona Visual	111
2.5. Ensaio de Elevação de Temperatura	111
2.6. Ensaio de Corrente de Curto-Circuito	111
2.7. Ensaio de Estabelecimento de Curto-Circuito para Chaves de Aterramento Rápido	112
2.8. Ensaio de Operação e Resistência Mecânica	112
3. ENSAIOS DE ROTINA	113
3.1. Ensaio de Tensão Aplicada à Frequência Industrial	113
3.2. Ensaio de Tensão Aplicada nos Circuitos Auxiliares e de Controle	115
3.3. Ensaio de Medição da Resistência do Circuito Principal.....	115
3.4. Ensaio de funcionamento mecânico (ABNT [16] e IEC [25])	115
ANEXO 2 – TABELA ANSI [26]	116
ANEXO 3 – LAY-OUT DAS CAIXAS DOS CIRCUITOS DE CONTROLE	118

1. INTRODUÇÃO

1.1. Proposta

Este trabalho almeja consolidar o material didático para a disciplina de Equipamentos Elétricos.

O trabalho tem a intenção de mostrar ao aluno de engenharia elétrica um material com apresentação concisa e, também, facilitar a ação do professor, já que incorpora seus apontamentos de aula.

1.2. Motivação

Este trabalho foi motivado pela necessidade de organizar o material didático para a disciplina de Equipamentos Elétricos, pelo interesse do professor Jorge Nemésio Souza em transformar isso em um tema para trabalho de conclusão de curso e pelo meu interesse sobre o assunto ministrado na disciplina.

1.3. Objetivo do Estudo

O objetivo do presente trabalho é a consolidação do material didático para auxiliar na preparação de futuros engenheiros eletricitas para que tenham meios suficientes para diferenciar os diversos tipos e modelos deste equipamento e ter a capacidade de selecionar a chave adequada para cada tipo de instalação.

Para isso, são fornecidos todos os valores normatizados, inclusive meios para especificação de uma chave conforme sua instalação, incluindo também suas características, modo de construção, acessórios, modo de operação e funções.

Além disso, são disponibilizados os modelos de cada tipo de chave com seus respectivos componentes, o princípio de funcionamento e suas características, incluindo suas principais faixas de operação.

1.4. Relevância do Estudo

A ideia básica por trás da disciplina de Equipamentos Elétricos é dar embasamento para que os alunos possam conhecer a fundo os detalhes dos diferentes equipamentos elétricos estudados ao longo de toda a sua formação. Os futuros engenheiros devem estar preparados para o dinamismo do mercado de trabalho e terem a ciência de que não devem somente conhecer o funcionamento dos equipamentos, máquinas e circuitos, mas também entender sua complexidade de concepção e suas respectivas áreas de atuação.

1.5. Limitações do Estudo

O tema abordado é de grande complexidade, até mesmo para os profissionais mais experientes da área. A quantidade de material disponível não é tão vasta e muito menos explicativa. Boa parte do material é baseada nas informações contidas em norma, salvo algumas publicações, catálogos e estudos específicos sobre determinado assunto, conforme a bibliografia.

Este estudo não tem como foco a confecção das chaves e seus pormenores nem os tipos de materiais utilizados na sua confecção e os ensaios realizados nesses materiais.

Este trabalho limita-se a apresentar os diversos tipos e modelos de chaves, suas características construtivas, operacionais e técnicas, seus circuitos de controle e as especificações técnicas necessárias para selecionar uma chave para determinada instalação.

1.6. Organização do Estudo

O presente trabalho está organizado em 11 capítulos e 3 anexos, compostos da seguinte maneira:

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO: apresenta os aspectos gerais dos assuntos contemplados no estudo, introduzindo a proposta, a motivação, as considerações iniciais, o objetivo, a relevância e as limitações do estudo.

Capítulo 2 – REFERENCIAL TEÓRICO: aponta as principais fontes consultadas para a revisão bibliográfica da literatura disponível, que serviu como embasamento do estudo.

Capítulo 3 – METODOLOGIA DE PESQUISA: descreve as etapas de elaboração do estudo, fundamenta e descreve a metodologia utilizada na pesquisa, classificando-a segundo sua natureza, objetivos e procedimentos técnicos, especificando o que foi realizado para a sua elaboração.

Capítulo 4 – CONCEITOS BÁSICOS: introduz os estudantes nos conceitos básicos do equipamento. Neste capítulo é apresentado o tema, as normas aplicáveis, as principais características técnicas e dos sistemas onde são empregados além de suas características construtivas comuns.

Capítulo 5 – TIPOS DE CHAVES: são abordados os diferentes tipos de chaves com suas respectivas definições, funções, principais componentes assim como seus modos de operação.

Capítulo 6 – CLASSIFICAÇÃO DAS CHAVES: são abordados os diferentes modelos de chaves, tipo de instalação, tipo de montagem, tipo de acionamento além de seus acessórios.

Capítulo 7 – CONCEITOS DE OPERAÇÃO: são abordados os conceitos empregados em norma para representar os diferentes processos de operação das chaves.

Capítulo 8 – CIRCUITOS DE CONTROLE: é feita uma análise das características essenciais dos circuitos de controle aplicáveis a este tipo de equipamento. As diferentes funções são apresentadas e introduzidas uma a uma para facilitar o entendimento do assunto.

Capítulo 9 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS: são abordadas as características nominais do equipamento com base nos valores apresentados em norma. Com base nessas informações, pode-se especificar e selecionar a chave adequada para determinada instalação.

Capítulo 10 – MANUAL PARA SELEÇÃO DE CHAVES: são abordados os meios para determinar e selecionar as chaves, baseando-se nas informações apresentadas no capítulo 9.

Capítulo 11 – CONCLUSÃO: apresenta uma análise conclusiva a respeito do trabalho desenvolvido e comentários a ele relacionados.

Anexo 1 – ENSAIOS: são introduzidos os principais ensaios realizados nas chaves. Esses ensaios são divididos entre os ensaios de tipo e os ensaios de rotina.

Anexo 2 – TABELA ANSI: é apresentada uma tabela informativa, cuja função é ajudar os alunos a selecionar a chave adequada pela norma ANSI.

Anexo 3 – LAY-OUT DAS CAIXAS DOS CIRCUITOS DE CONTROLE: são apresentadas desenhos construtivos onde são mostrados os equipamentos do circuito de controle dispostos nas caixas de campo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O trabalho foi iniciado tomando como base o próprio material didático existente da disciplina, em conjunto com literaturas disponíveis, outros documentos que tratam do tema, e das normas aplicáveis. O material foi atualizado, organizado e enriquecido, chegando à forma que será apresentada.

As normas, que eram utilizadas como base, foram revisadas e atualizadas conforme mostradas abaixo:

- ABNT NBR 6935:1985 – Seccionador, chaves de terra e aterramento rápido (Substituída por ABNT NBR IEC 62271-102:2006)
- IEC 61129:1994 – *Alternating Current Earthing Switches – Induced Current Switching* (Substituída por IEC 622781-102:2003)
- IEC 129:1990 – *High-voltage Switchgear And Controlgear – A.c. Disconnectors And Earthing Switches For Voltages Above 1 Kv* (Substituída por IEC 622781-102:2003)
- IEC 60129:1996 – *Alternating Current Disconnectors And Earthing Switches* (Substituída por IEC 622781-102:2003)
- IEC 61259:1994 - *Gas-insulated Metal-enclosed Switchgear For Rated Voltages 72,5 Kv And Above - Requirements For Switching Of Bus-charging Currents By Disconnectors* (Substituída por IEC 622781-102:2003)
- IEC 265-2:1991 - *High-voltage Switches - Part 2: High-voltage Switches For Rated Voltages Of 52 Kv And Above* (Aplicável)
- IEC 62271-102:2003 - *Alternating current disconnectors and earthing switches* (Aplicável)
- IEC 60694:2002 - 2006 - *Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards* (Aplicável)
- ABNT NBR IEC 62271-102:2006 - Equipamentos de alta-tensão Parte 102: Seccionadores e chaves de aterramento (Aplicável)
- ABNT NBR IEC 60694:2006 - Especificações comuns para normas de equipamentos de manobra de alta-tensão e mecanismos de comando (Aplicável)
- ANSI C37.32:2002 - *High-Voltage Switches, Bus Supports, and Accessories-Schedules of Preferred Ratings, Construction Guidelines and Specifications* (Aplicável)
- ANSI C37.30:1997 - *IEEE Standard Requirements for High Voltage Switches* (Aplicável)
- IEC 62271-108:2005 – *Combined Functions of Disconnecting Circuit-Breakers* (Aplicável)

Novas imagens foram adicionadas para facilitar a compreensão, uma vez que determinados assuntos tornavam-se difíceis de serem compreendidos devido à falta de ilustrações que pudessem reforçar o que era abordado.

O texto que será apresentado segue as normas de elaboração de trabalhos acadêmicos da ABNT.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1. Introdução

Neste capítulo é abordada, toda a metodologia da pesquisa utilizada durante o projeto, mostrando todas as etapas de pesquisa realizadas.

A divisão dessas etapas se deu da seguinte forma:

1. Escolha do tema;
2. Definição do objetivo do estudo;
3. Revisão bibliográfica;
4. Estudo do referencial teórico;
5. Metodologia;
6. Redação e elaboração do trabalho;
7. Conclusão.

3.2. Etapas da Pesquisa

Na primeira etapa da pesquisa, foi realizada a escolha do tema. Na segunda etapa, foi definido o objetivo da pesquisa. Na terceira, foi realizada uma revisão bibliográfica contemplando as normas atualizadas e a adoção de novas tecnologias.

A quarta etapa da pesquisa constitui-se no estudo das novas bibliografias, onde foram verificadas as principais mudanças ocorridas e os novos assuntos abordados.

A quinta, constitui-se no desenvolvimento da metodologia implementada, que é o assunto tratado neste capítulo.

Na sexta etapa, organizou-se o material, que se estende do capítulo 4 ao capítulo 10.

Finalmente, a sétima etapa é desenvolvida no capítulo 11, que mostra a análise conclusiva a respeito do trabalho.

3.3. Definição de Pesquisa

Antes de darmos prosseguimento a metodologia de pesquisa, é importante definir o que se entende por pesquisa devido a diversas formas de definição.

Para SANTOS (apud SOARES, 2008), por exemplo, o ato de pesquisar é “o exercício intencional da pura atividade intelectual, visando melhorar as condições práticas da existência”.

Portanto, o ato da pesquisa engrandece não só o pesquisador, como também a humanidade, já que suas descobertas ficam como legado para a posteridade.

3.4. Caracterização da Pesquisa

A caracterização de uma pesquisa pode ser feita de diversas formas. As formas clássicas são feitas segundo a natureza, os objetivos, a abordagem do problema ou segundo os procedimentos técnicos de coleta de dados.

Quanto à natureza, uma pesquisa pode ser classificada, segundo SILVA E MENEZES (apud OLIVEIRA, 2008), como **básica** ou **aplicada**.

- **Pesquisa Básica** – tem por objetivo gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista. Envolve verdades e interesses universais.
- **Pesquisa Aplicada** – tem por objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.

Quanto aos objetivos, as pesquisas podem ser classificadas, segundo GIL (apud OLIVEIRA, 2008), como: **exploratória, descritiva e explicativa**.

- **Pesquisa Exploratória** – tem por objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudos de Caso.
- **Pesquisa Descritiva** – tem por objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assume, em geral, a forma de Levantamento.
- **Pesquisa Explicativa** – tem por objetivo identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão, o “porquê” das coisas. Quando realizada nas ciências naturais, requer o uso do método experimental, e nas ciências sociais requer o uso do método observacional.

Quanto aos procedimentos técnicos de coleta a pesquisa pode ser classificada, segundo GIL (apud OLIVEIRA, 2008), em **bibliográfica, documental, levantamento, estudo de caso, ex post facto, pesquisa ação e participante**.

- **Pesquisa Bibliográfica** – quando elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e atualmente com material disponibilizado na Internet.

- **Pesquisa Documental** – quando elaborada a partir de materiais que não receberam tratamento analítico.
- **Pesquisa Experimental** – quando se determina um objeto de estudo, selecionam-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.
- **Levantamento** – quando a pesquisa envolve a interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer.
- **Estudo de caso** – quando envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.
- **Pesquisa *ex-post-facto*** – quando o “experimento” se realiza depois dos fatos.
- **Pesquisa-Ação** – quando concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo. Os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.
- **Pesquisa Participante** – quando se desenvolve a partir da interação entre pesquisadores e membros das situações investigadas.

Portanto, a pesquisa realizada nesse trabalho pode ser caracterizada, quanto à natureza, como **aplicada**, pois tem como objetivo gerar conhecimento para a aplicação prática, uma vez que propõe a elaboração de material didático.

Quanto aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como **descritiva** por proporcionar maior familiaridade com o tema.

Finalmente, quanto aos procedimentos técnicos de coleta, a pesquisa pode ser classificada como **bibliográfica** e **documental**, pois foi elaborada a partir de material já publicado e não recebeu tratamento analítico.

4. CHAVES

4.1. Introdução

No início da utilização da energia elétrica pela sociedade, os circuitos eram dotados de uma ‘espécie’ de chave, que permitiam que esses circuitos fossem abertos ou fechados. Esse mecanismo não era seguro e nem oferecia uma proteção adequada ao circuito.

Ao longo dos anos, essas chaves passaram a ser utilizadas em conjunto com fusíveis, gerando certa segurança aos circuitos contra sobre corrente e curto circuitos. A partir do estudo e desenvolvimento de novas soluções, foram surgindo outros mecanismos, como por exemplo, os disjuntores.

Ao longo do tempo os equipamentos foram evoluindo porém, o conceito e o princípio de funcionamento das chaves permaneceram os mesmos desde sua criação.

Conforme os circuitos foram crescendo, altas tensões passaram a ser necessárias para realizar a transmissão da eletricidade, com isso, as chaves, que antes eram utilizadas somente em baixa tensão, passaram a ser utilizadas em alta tensão, como por exemplo, nas subestações.

A utilização das chaves passou a ser necessária para isolar e seccionar os circuitos, uma vez que os disjuntores por si só não permitem realizar essas funções. A partir daí, o uso das chaves nas subestações passou a ser obrigatório, inclusive tem sua obrigação descrita em norma, como por exemplo, ABNT, IEC e ANSI.

Com a evolução dos modelos de subestação e a falta de espaço físico, as chaves foram sofrendo algumas modificações na sua construção, abrindo um ‘leque’ de diferentes tipos, modelos, materiais e tamanhos.

Essas limitações estão permitindo que as chaves, que somente eram utilizadas em ambientes com meio isolante a ar, utilizem como meio isolante outros elementos, permitindo a diminuição do seu tamanho e em alguns casos, sua integração com outros equipamentos.

As chaves são dispositivos elétricos que fazem parte do grupo denominado equipamentos de manobra.

Segundo a ABNT [16], equipamentos de manobra são: *“Dispositivos elétricos destinados a estabelecer ou interromper corrente elétrica, em um ou mais circuitos elétricos.”*. Em sistemas de potência suas funções são estabelecer a união entre linhas de transmissão, geradores, consumidores e transformadores, separá-los ou seccioná-los além de servirem como proteção para todos os componentes elétricos contra a atuação perigosa de sobrecargas, correntes de curto-circuito e contatos a terra.

Nas subestações, as chaves podem desempenhar diversas funções, sendo a mais comum a de seccionamento de circuitos por necessidade operativa ou por necessidade de

isolar componentes do sistema, como equipamentos ou linhas de transmissão. Nesse último caso, as chaves quando se encontram abertas, para isolar os componentes em manutenção, devem ter uma suportabilidade, entre terminais, às solicitações dielétricas, de modo a assegurar que o pessoal de campo possa executar os serviços de manutenção com as condições adequadas de segurança.

4.2. Principais Características

As chaves possuem um determinado conjunto de características que devem ser levadas em consideração na sua especificação. Essas características são definidas de acordo com a sua aplicação. Entretanto, algumas características são pertinentes a todas as chaves, que podem ser divididas em: características técnicas, características dos sistemas e características construtivas.

4.2.1. Características Técnicas

Dentre as características técnicas de maior relevância na especificação das chaves podemos destacar:

- **Tensão nominal** - Para ABNT [16] / IEC [25], a tensão nominal indica o limite máximo da tensão do sistema no qual a chave irá se conectar. Para ANSI [26] a tensão nominal indica o maior valor eficaz fase-fase para qual o equipamento é projetado para operação em serviço contínuo.
- **Frequência** - Para ABNT [16] / IEC [25] / ANSI [26], frequência nominal é a frequência de operação do sistema no qual a chave é instalada.
- **Nível de isolamento** - Caracteriza a suportabilidade do equipamento às solicitações dielétricas.
- **Corrente nominal** - Para ABNT [16] / IEC [25], é o valor máximo eficaz da corrente transportada continuamente sob as condições nominais de uso e operação para qual a chave foi projetada, sem exceder os valores de temperatura especificados para seus componentes. Para ANSI [26], é o valor eficaz de corrente que o equipamento deve conduzir continuamente, sem exceder os valores de temperatura especificados para seus componentes.
- **Corrente de curto circuito** - é composta pelas componentes simétrica e assimétrica da corrente.

Essas características serão abordadas posteriormente.

4.2.2. Características dos Sistemas

Para selecionar e utilizar as chaves em sistemas de alta tensão, algumas informações referentes aos sistemas onde as chaves serão instaladas devem ser observadas, como por exemplo:

- **Características de natureza térmica e elétrica:**
 - Capacidade de condução de corrente nominal;
 - Capacidade de condução de corrente de curto;
 - Suportabilidade as solicitações dielétricas;
- **Características de natureza mecânica:**
 - Esforços devido as correntes de curto-circuito;
 - Ventos;
 - Intempéries;
- **Características de Instalação:**
 - Uso externo;
 - Uso interno.

4.2.3. Características Construtivas

Todos os tipos de chaves possuem em suas construções elementos comuns. Esses elementos constituem, em sua maior parte, aos componentes estruturais das chaves, como polo seccionador, contatos, base, isoladores, mancais etc. Os componentes referentes às partes elétricas e mecânicas nem sempre são comuns a todas as chaves, sendo especificados conforme o tipo de chave.

Os componentes comuns segundo a ABNT [16] / IEC [25] são:

- **Polo seccionador**

É a parte da chave, incluindo o circuito principal, os isoladores e a base, associada exclusivamente a um único caminho condutor eletricamente separado. Exclui os elementos que possibilitam a operação de todos os polos simultaneamente.

- **Circuito principal**

É constituído de todos os elementos condutores incluídos no circuito. É responsável por comandar a abertura e o fechamento da chave.

- **Contatos** (Figura 4-1)

São responsáveis pelo contato entre duas ou mais peças condutoras, destinadas a assegurar a continuidade do circuito quando se tocam e, dependendo da operação, fecham ou abrem o circuito. Geralmente, sua superfície, onde é realizado o contato propriamente dito, é revestida com prata e a pressão realizada nos mesmos é dada por molas de aço inox, bronze fosforoso ou cobre-berílio.

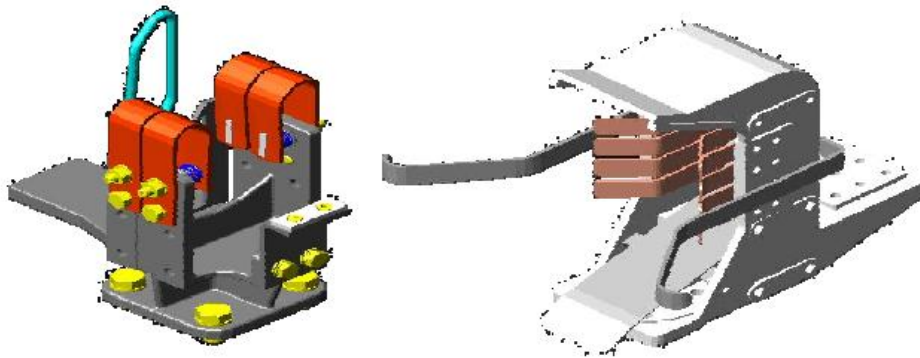


Figura 4-1 Contatos [7]

- **Contato principal**

É um contato incluído no circuito principal que possibilita a passagem da corrente para o circuito principal, quando em posição fechada.

- **Base** (Figura 4-2)

É construída em aço laminado, galvanizado a quente, com perfis U, I, U dupla, treliça ou tubos de aço de parede reforçada.



Figura 4-2 Base [7]

- **Mancal**

É a parte rotativa da base do seccionador, onde é fixada a coluna rotativa.

- **Sub-bases (Isolador superior)**

Destinam-se a elevar a altura da coluna isolante, equiparando-se com as outras colunas.

- **Coluna isolante** (Figura 4-3)

É uma das partes fundamentais no isolamento da chave. Ela mantém a isolação entre a parte viva e a base da chave seccionadora.

A coluna isolante deve suportar as diversas formas de solicitações dielétricas, térmicas e mecânicas, de acordo com a especificação da chave sem produzir muito ruído.

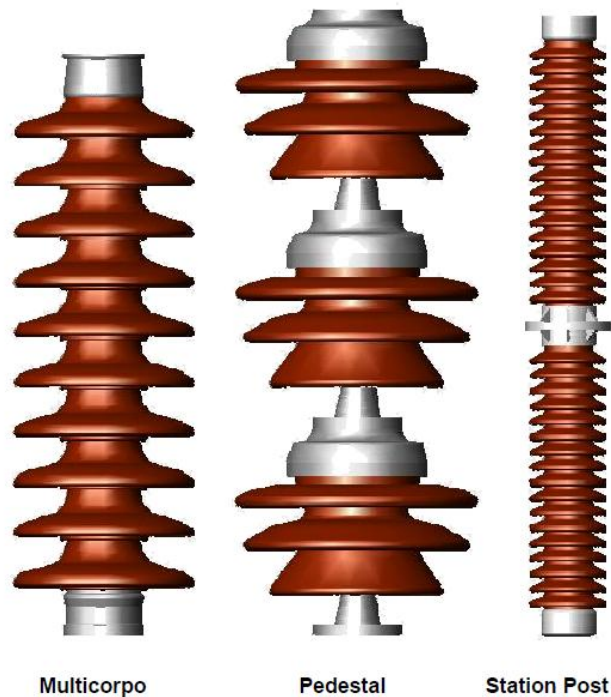


Figura 4-3 Colunas Isolantes [7]

- **Lâmina principal** (Figura 4-4)

Deve ser feita de material altamente condutor, geralmente cobre ou alumínio, com formato de barra ou tubo.

Sua função é conduzir a corrente, quando na posição fechada, e assegurar uma distância de isolamento quando está aberta.

Ela deve ter alta condutividade e boa rigidez mecânica, sendo leve o suficiente para permitir a sua operação sem grande esforço.



Figura 4-4 Lâmina principal [7]

- **Suporte dos contatos**

Sua construção deve ser feita de forma que resistam aos esforços de operação, mantendo uma seção suficientemente grande para não sobreaquecerem com as passagens das correntes nominais e de curto-circuito. São geralmente feitos de ligas de cobre ou alumínio.

5. TIPOS DE CHAVES

Dependendo da função desempenhada no sistema elétrico as chaves recebem uma classificação específica, que segundo a ABNT [16] / IEC [25] / ANSI [26] podem ser do tipo seccionadora, de terra ou aterramento, de aterramento rápido ou de operação em carga.

Com o avanço da tecnologia, as chaves sofreram evoluções e foram aos poucos assumindo funções de outros equipamentos. Um exemplo disso foram as chaves de operação em carga. Essas chaves evoluíram tanto que hoje existem diversos subtipos, como por exemplo, as chaves de abertura em carga de linhas de transmissão e as chaves integradas com disjuntores.

5.1. Chaves Secionadoras

As chaves seccionadoras, que durante muitos anos foram conhecidas como chaves seccionadoras, deixaram de ter esse nome devido à padronização adotada pela ABNT, nas NBR 6935/85 e 7571/85.

5.1.1. Definição

Define-se, segundo a NBR 6935, como “um dispositivo mecânico de manobra capaz de abrir e fechar um circuito elétrico quando uma corrente de intensidade desprezível é interrompida ou restabelecida. Também é capaz de conduzir correntes sob condições normais do circuito e, durante um tempo especificado, correntes sob condições anormais, como curto-circuito”.

5.1.2. Funções

As chaves seccionadoras possuem como principais funções ‘by-passar’, isolar e manobrar equipamentos e circuitos, sempre respeitando suas especificações. Tais funções são descritas abaixo:

- *By-pass* de equipamentos
O *by-pass* dos equipamentos é realizado em equipamentos que necessitam de manutenção ou por imposição da operação do sistema.
- Isolar equipamentos
Usado para isolar qualquer componente do sistema elétrico, como capacitores, linhas de transmissão, transformadores, disjuntores, geradores, entre outros.
- Manobrar circuitos
Usado para manobrar circuitos entre os barramentos de uma subestação.

5.1.3. Principais Componentes

Segundo a ABNT [16] / IEC [25], as chaves seccionadoras têm como principais componentes:

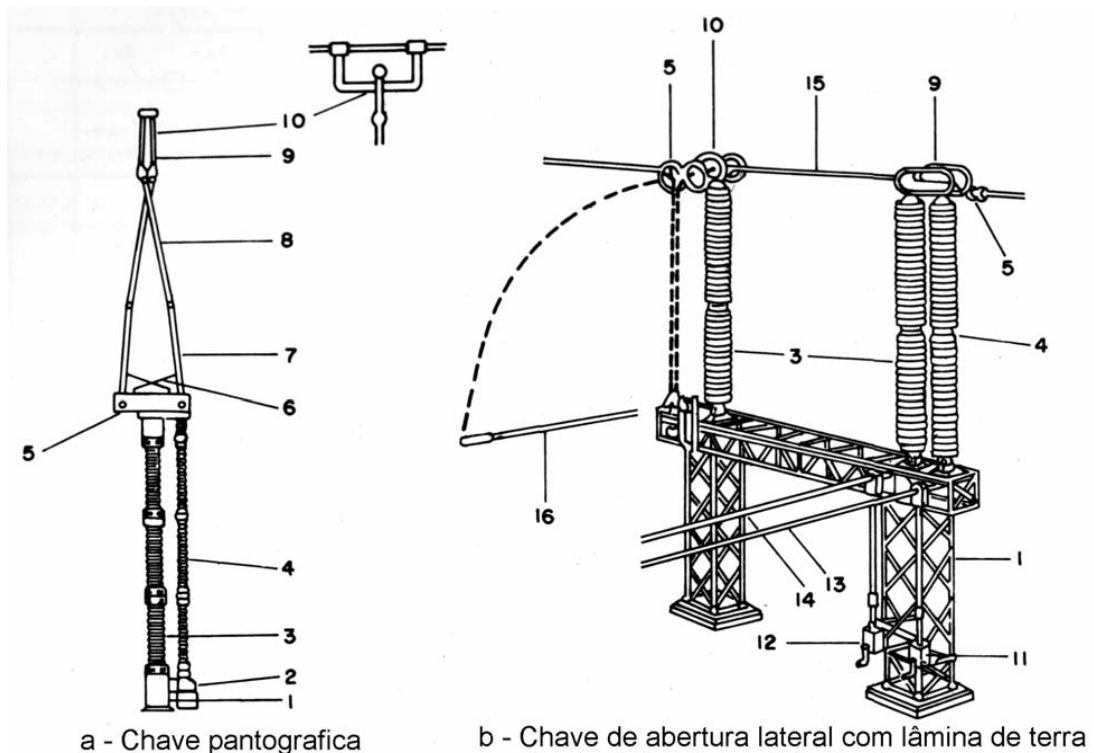


Figura 5-1 Chaves seccionadoras [6]

1. Base ou estrutura
2. Mecanismo de operação
3. Coluna de porcelana
4. Coluna de porcelana rotativa
5. Terminal de conexão
6. Articulação de comando
7. Haste inferior da articulação principal
8. Haste superior da articulação principal
9. Terminal de articulação
10. Terminal de espera
11. Mecanismo de comando manual da lâmina principal
12. Mecanismo de comando manual da lâmina de terra
13. Haste de acionamento conjunto das lâminas principais
14. Haste de acionamento conjunto
15. Lâmina principal
16. Lâmina de terra

5.1.4. Modo de Operação

As chaves seccionadoras atuam somente sem carga para isolar componentes do sistema, transferir circuitos ou 'by-passar' equipamento. Geralmente possuem sistema de acionamento intertravado com outros elementos do sistema como, por exemplo, os disjuntores para evitar uma atuação indevida. Neste caso, a chave somente irá abrir ou fechar se o disjuntor estiver aberto, caso contrário, ela não deve operar.

5.2. Chaves de Terra ou de Aterramento

As chaves de terra ou de aterramento são necessárias devido a diversos componentes do sistema elétrico não serem aterrados, como por exemplo, banco de capacitores em derivação, barramentos ou linhas de transmissão.



Figura 5-2 Chave de terra [35]



Figura 5-3 Chave de terra [34]

5.2.1. Definição

Segundo a ABNT [16] / IEC [25], são dispositivos mecânicos que aterram partes de um circuito, isolando-os dos demais componentes do sistema. Não possuem a capacidade de operação em carga.

5.2.2. Função

As chaves de terra são utilizadas em conjunto com as chaves seccionadoras, disjuntores, banco de capacitores etc., para aterrar equipamentos, linhas de transmissão e barramentos para que possam ser efetuadas operações de inspeção, manutenção e substituição, garantindo a segurança do pessoal envolvido.

5.2.3. Principais Componentes

Além dos elementos comuns, possuem, por exemplo, a denominação de lâmina de terra ou lâmina de aterramento, quando acopladas às chaves seccionadoras, compartilhando com ela seus elementos construtivos.

5.2.4. Modo de Operação

As chaves de terra atuam somente sem carga, exclusivamente para aterrar componentes do sistema. Geralmente possuem sistema de acionamento intertravado com outros elementos do sistema como, por exemplo, as chaves seccionadoras, para evitar uma atuação indevida. Neste caso, a chave de terra somente irá abrir ou fechar se o circuito no qual ela faz parte estiver aberto.

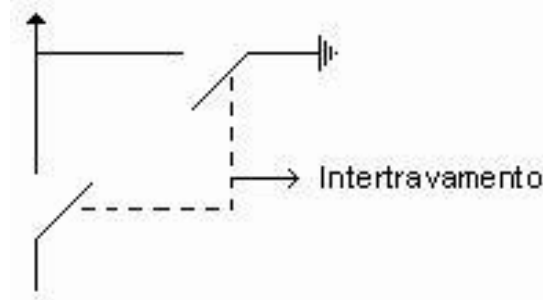


Figura 5-4 Circuito de intertravamento [7]

5.3. Chaves de Aterramento Rápido

São chaves raramente utilizadas por se tratarem de chaves empregadas em situações de emergência. Entretanto, quando exigidas, são extremamente rápidas, necessitando às vezes de acionamento por meio de explosivos.

5.3.1. Definição

Segundo a ABNT [16] / IEC [25], são dispositivos dotados de um sistema de acionamento rápido, preparados para atuar em situações de emergência, capazes de suportar por um período especificado de tempo, correntes em condições anormais, como correntes de curto-circuito, mas não são capazes de suportar de forma contínua a corrente nominal.

5.3.2. Função

Dentre suas funções estão aterrar componentes energizados do sistema, em caso de defeitos não manobráveis, como linhas de transmissão sem esquema de proteção com transferência de disparo; linhas de transmissão terminadas por transformador sem disjuntor no terminal da linha e proteção de geradores contra sobre tensões e auto excitação.

5.3.3. Principais Componentes

Além dos componentes comuns, possuem mecanismo de operação com um elemento capaz de armazenar energia. Essa energia é armazenada em molas ou até mesmo em explosivos, que são utilizados para imprimir velocidade à faca.

5.3.4. Modo de Operação

O disparo é feito por dispositivo eletromagnético, que recebe o impulso de comando, fazendo com que o engate da mola ou o ignitor do explosivo seja acionado, aterrando automaticamente um circuito energizado criando um curto circuito intencional.

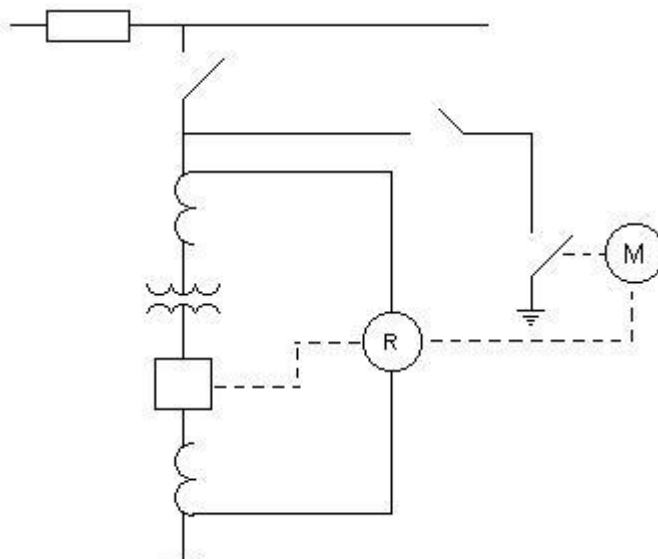


Figura 5-5 Circuito de operação de uma chave de aterramento rápido [6]

5.4. Chaves de Operação em Carga

São chaves utilizadas para substituir disjuntores no chaveamento e proteção de grandes bancos de capacitores.

5.4.1. Definição

São chaves seccionadoras dotadas de dispositivos especiais de extinção de arco, em seus contatos físicos e móveis, capazes de interromper correntes próximas a nominal.

5.4.2. Função

Permitem a abertura de circuitos em carga, como grandes bancos de capacitores, reatores e filtros de harmônicos em subestações conversoras CA-CC. Podem substituir certos disjuntores, porém não permitem interromper correntes de faltas.

5.4.3. Principais Componentes

Além dos elementos comuns, possuem um dispositivo de interrupção de corrente (câmara de extinção de arco) e, eventualmente, com dispositivo de limitação de corrente (resistores) no fechamento. A câmara de extinção tem a capacidade de envolver e confinar os contatos onde são formados os arcos e extingui-los.

A quantidade de unidades de interrupção em série depende da capacidade de interrupção requerida e dos requisitos de TTR - Tensão Transitória de Restabelecimento ou TRV - *Transient Recovery Voltage*.

Dentre seus principais componentes podemos destacar:

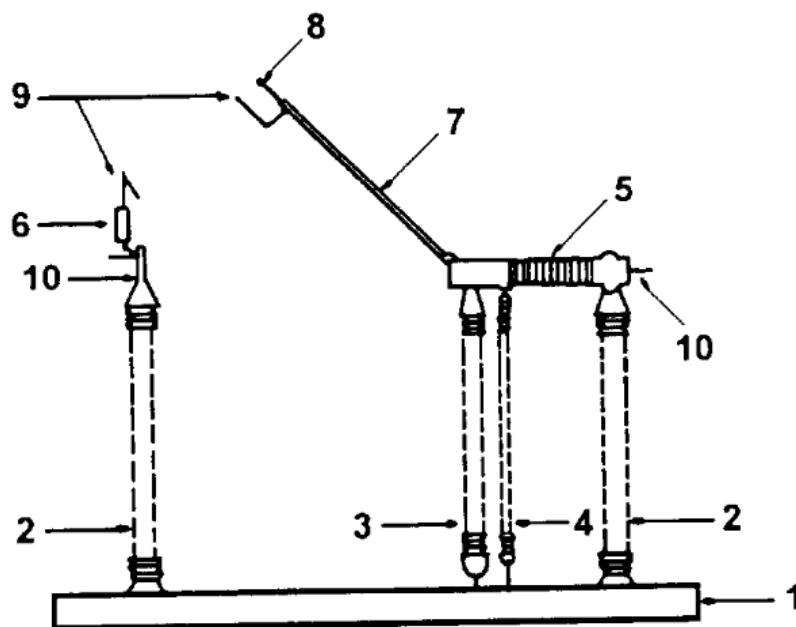


Figura 5-6 Chave de operação em carga [6]

1. Base ou estrutura
2. Coluna de porcelana
3. Coluna de porcelana rotativa para acionamento da lâmina principal
4. Coluna de porcelana rotativa para acionamento da unidade de interrupção
5. Unidade de interrupção
6. Resistor de pré-inserção
7. Lâmina principal
8. Contato principal
9. Contato auxiliar para pré-inserção do resistor durante o fechamento da chave
10. Terminal de conexão

5.4.4. Modo de Operação

Para abertura da chave, a corrente é interrompida pela unidade de interrupção, geralmente constituída de SF₆, e somente depois de interrompida a corrente, a lâmina principal é aberta.

Para o fechamento da chave, os contatos da unidade de interrupção são fechados e a lâmina principal é fechada em alta velocidade.

5.4.5. Comparação com Disjuntores

Uma das vantagens das chaves de abertura em carga é possuir manutenção mais rápida e mais simples do que a de um disjuntor, basicamente restrita à substituição das unidades de interrupção de SF_6 por outra unidade.

Dependendo dos critérios de segurança, a reposição da unidade de interrupção poderá ser realizada somente com a abertura da lâmina principal da chave caso a unidade de interrupção fique localizada ao lado do terminal desenergizado da chave aberta, caso contrário, haverá necessidade de um seccionador ou de um elo removível para isolar a chave antes da manutenção.

Uma das desvantagens é que essas chaves possuem limitações com relação aos níveis de tensão e correntes de curto, não podendo substituir os disjuntores em determinadas situações.

5.5. Chaves de Operação em Carga em Linhas de Transmissão

As chaves de operação em carga em linhas de transmissão são uma evolução das chaves de operação em carga tradicionais, pois unem as suas funções com outras novas funções que veremos a seguir.



Figura 5-7 Chaves de operação em carga em linhas de transmissão [21]

5.5.1. Definição

São chaves seccionadoras dotadas de dispositivos especiais de extinção de arco, em seus contatos físicos e móveis, capazes de interromper correntes de carga superiores às chaves de operação em carga tradicionais.

5.5.2. Função

Permitem a abertura de circuitos em carga como grandes bancos de capacitores, reatores e filtros de harmônicos em subestações conversoras CA-CC. Podem interromper também as correntes de magnetização dos transformadores, transferir linhas em carga e melhorar confiabilidade das linhas de transmissão.

5.5.3. Principais Componentes

Além dos elementos comuns, possuem um dispositivo de interrupção de corrente (câmara de extinção de arco) e, eventualmente, com dispositivo de limitação de corrente (resistores) no fechamento. A câmara de extinção tem a capacidade de envolver e confinar os contatos onde são formados os arcos e extingui-los.

5.5.4. Modo de Operação

Da mesma forma que as tradicionais chaves de operação em carga, para abertura da chave, a corrente é cortada pela unidade de interrupção, geralmente constituída de SF₆, e somente depois de interrompida a corrente, a lâmina principal é aberta.

Para o fechamento da chave, os contatos da unidade de interrupção são fechados e a lâmina principal é fechada em alta velocidade.

Para a realização dessas operações, a energia necessária é armazenada em molas, com acionamento através de um circuito de controle específico para esse tipo de chave.

5.6. Chaves Integradas com Disjuntores

Segundo a IEC [25], as chaves integradas com disjuntores fazem parte de um grupo chamado disjuntores seccionadores. Possuem as características tanto das chaves quanto dos disjuntores.

5.6.1. Definição

Segundo a ABB [20], são disjuntores inicialmente projetados para serem utilizados nas subestações convencionais, que passaram a incluir a chave seccionadora dentro da câmara de extinção.

5.6.2. Função

Possuem as funções de um disjuntor, somadas com as funções das chaves seccionadoras, garantindo todas as condições de interrupção de corrente dos disjuntores e o espaçamento necessário para isolar os circuitos das chaves seccionadoras.

5.6.3. Principais Componentes

Possuem todos os componentes de um disjuntor convencional, com a inclusão da chave seccionadora dentro da câmara de extinção e de uma chave (lâmina) de terra externa, conforme Figura 5-8.

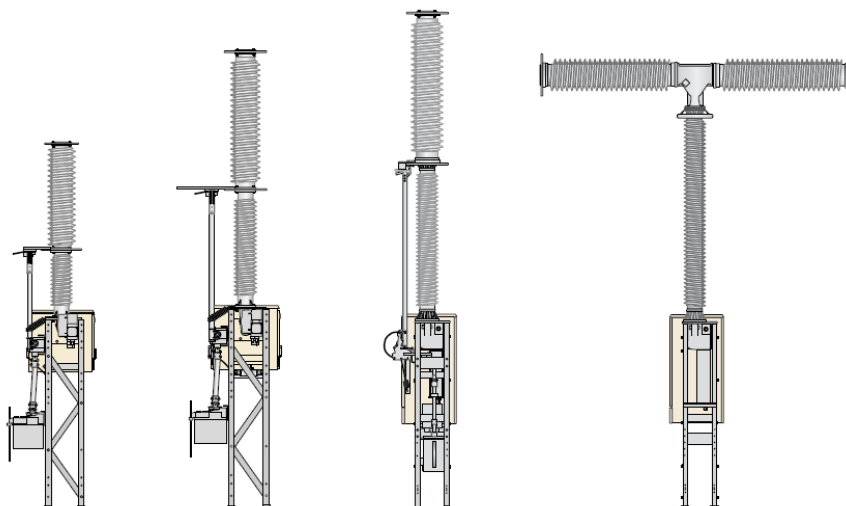


Figura 5-8 Chaves integradas com disjuntores [20]

5.6.4. Modo de Operação

Seu modo de operação é idêntico ao de um disjuntor, a única diferença é que devido à inclusão da seccionadora, essas chaves integradas com disjuntores passaram a ter três posições ao invés de duas, como em um disjuntor convencional.

Essas posições são:

- Fechada (como em um disjuntor)
- Aberta (como em um disjuntor)
- Posição desconectada ou seccionada.

Na posição desconectada ou seccionada, o contato principal é bloqueado mecanicamente na posição aberta e se mantém nessa posição. O bloqueio mecânico do polo é feito por um equipamento separado do dispositivo de operação do disjuntor, a fim de garantir a segurança operacional e evitar fechamentos involuntários.

Do ponto de vista operacional, o bloqueio mecânico pode ser considerado semelhante ao bloqueio utilizado para as chaves seccionadoras tradicionais.

6. CLASSIFICAÇÃO DAS CHAVES SECIONADORAS

Além das classificações vistas anteriormente, podemos subdividir as chaves seccionadoras de acordo com o tipo de abertura, de instalação, de acionamento e de modo de operação.

Devido a grande quantidade de fatores para a especificação de uma chave como tipos, modelos e características técnicas, torna-se difícil estabelecer um critério para escolha.

Quanto aos critérios construtivos podemos considerar:

6.1. Tipo de Abertura

6.1.1. Abertura Vertical (ANSI [26] tipo A / ABNT [16] tipo AV)

As seccionadoras de abertura vertical apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por três colunas de isoladores, sendo 2 fixas e uma rotativa;
- A coluna rotativa fica em uma extremidade, junto ao mecanismo de acionamento do equipamento;
- Abertura da chave ocorre verticalmente;
- Necessita de menor distância entre fases.

Operativas:

- Atendem a toda gama de tensões e correntes;
- Permitem fácil abertura dos contatos através da rotação da faca;
- Apresentam boa resistência a curto-circuito;
- Permitem uma visão nítida da posição da lâmina;
- Custo elevado;
- Melhor desempenho;

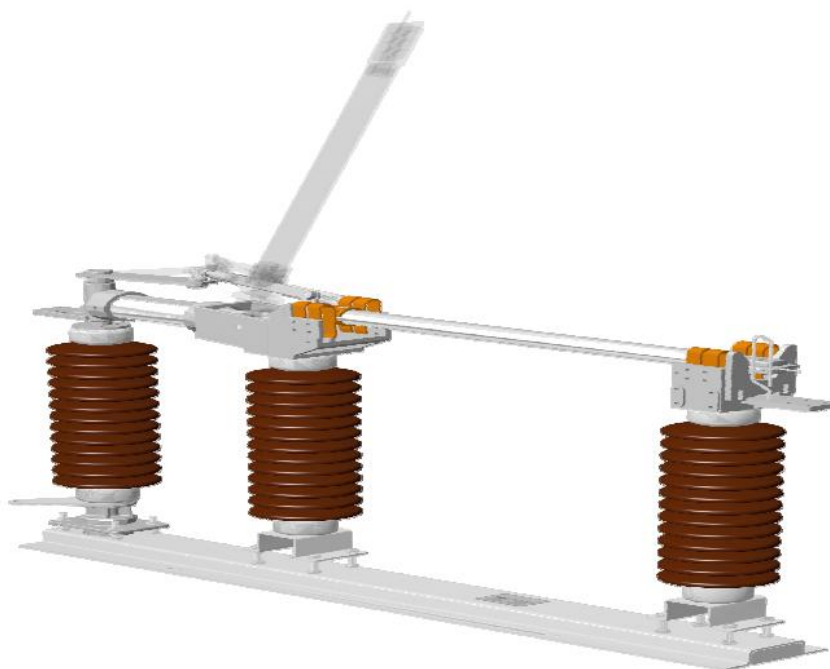


Figura 6-1 Chave de abertura vertical (ANSI [26] tipo A / ABNT [16] tipo AV) [7]



Figura 6-2 Chave de abertura vertical montada horizontalmente [34]



Figura 6-3 Chave de abertura vertical, montadas horizontalmente, com mecanismo de abertura em grupo [29].

6.1.2. Dupla Abertura Lateral (ANSI [26] tipo B / ABNT [16] tipo DA)

As seccionadoras de dupla abertura lateral apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por duas colunas de isoladores laterais fixas e uma central rotativa;
- A coluna rotativa é disposta no centro da chave;
- Abertura da chave ocorre duplamente em suas extremidades;

Operativas:

- Faixa de tensão entre 138 kV até 500 kV;
- Faixa de corrente entre 2.000 A até 4.000 A;
- Distância disruptiva através das facas é equivalente à distância entre fases;
- Ocupa pouco espaço horizontal;
- Operação suave devido ao equilíbrio entre as facas;
- Apresentam boa resistência a curto-circuito;
- Custo elevado.

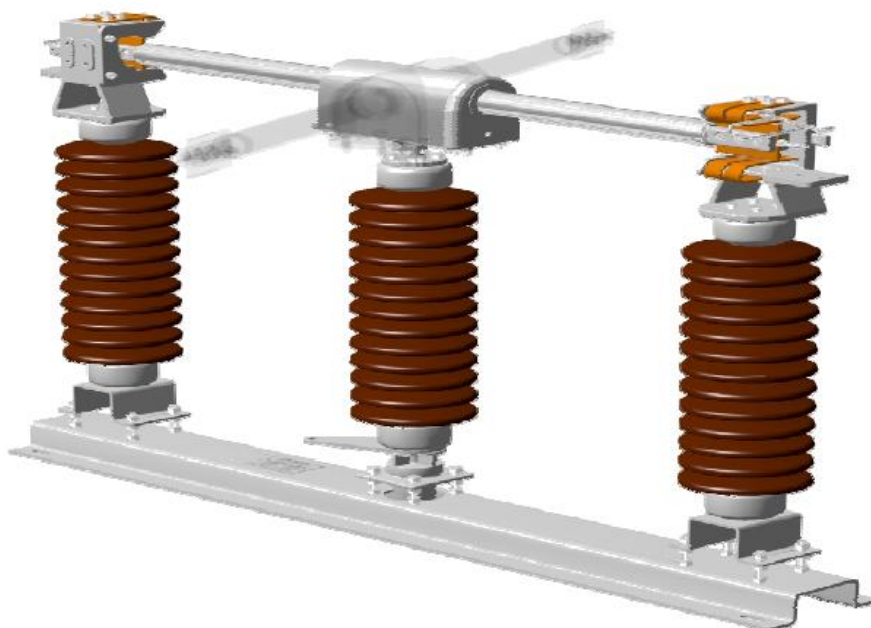


Figura 6-4 Chave com dupla abertura lateral (ANSI [26] tipo B / ABNT [16] tipo DA) [7]



Figura 6-5 Chave de dupla abertura lateral montada horizontalmente [35]

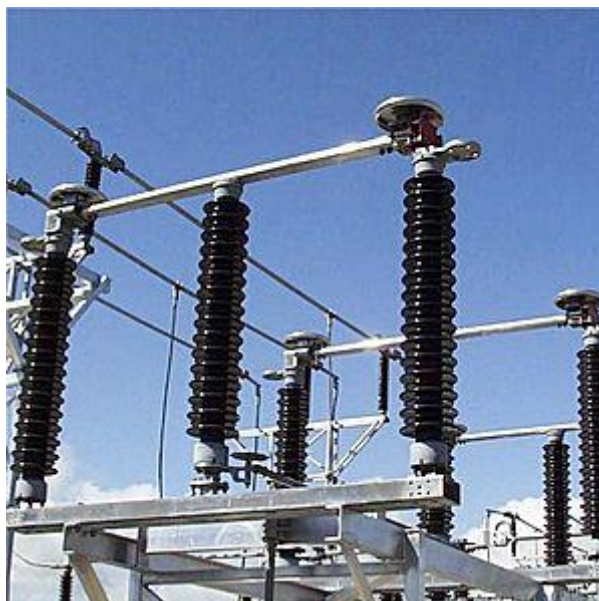


Figura 6-6 Chave de dupla abertura lateral [36]



Figura 6-7 Chave de dupla abertura lateral [27]

6.1.3. Basculante (ANSI [26] tipo C)

As seccionadoras basculantes apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por duas colunas de isoladores laterais fixas e uma central rotativa;

- A coluna rotativa é disposta no centro da chave;
- Abertura da chave ocorre em uma das extremidades;

Operativas:

- Utilizados em tensões até 34,5KV
- Grande esforço para operação devido ao peso do isolador;
- Grande impacto no fechamento;
- Apresentam pequena resistência a curto-circuito.

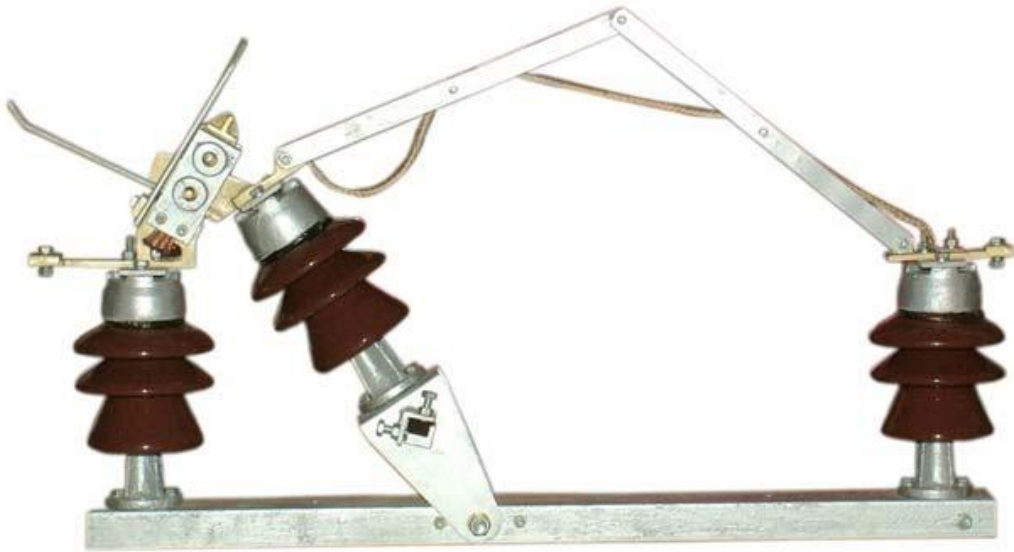


Figura 6-8 Chave basculante (ANSI [26] tipo C)



Figura 6-9 Chave basculante

6.1.4. Abertura Lateral (ANSI [26] tipo D / ABNT [16] tipo AL)

As seccionadoras de abertura lateral apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por duas colunas de isoladores, sendo uma fixa e uma rotativa;
- A coluna rotativa é disposta em um dos isoladores;
- Abertura da chave ocorre lateralmente;

Operativas:

- Esforço de tração é bastante acentuado;
- Esforços provenientes de curto-circuito tendem a abrir a chave;
- Exige articulação especial para não introduzir esforços sobre a linha devido ao terminal estar apoiado na coluna rotativa.

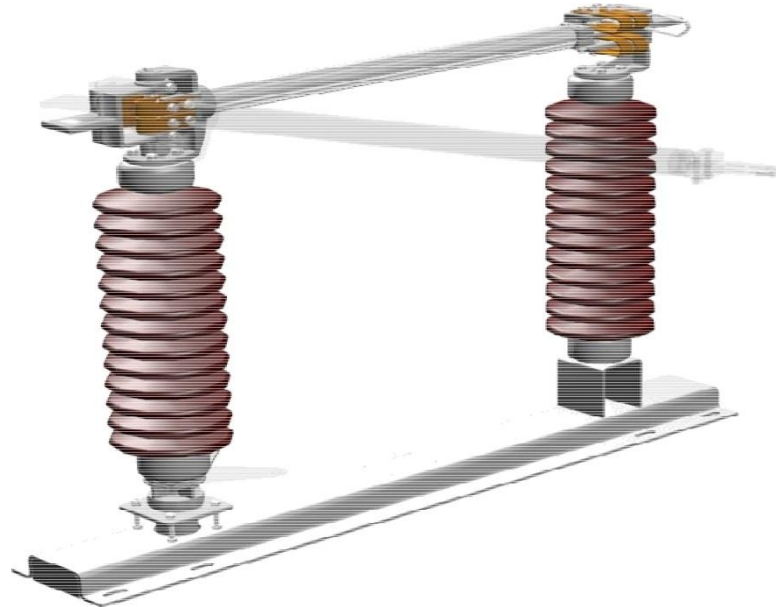


Figura 6-10 Chave com abertura lateral (ANSI [26] tipo D / ABNT [16] tipo AL) [7]



Figura 6-11 Chave de abertura lateral [33]



Figura 6-12 Chave de abertura lateral [35]

6.1.5. Abertura Central (ANSI [26] tipo E / ABNT [16] tipo AC)

As seccionadoras de abertura central apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por duas colunas de isoladores sendo ambas rotativas;
- As colunas rotativas são dispostas nos isoladores;
- Abertura da chave ocorre bem no centro da lâmina principal;

Operativas:

- Faixa de tensão entre 7,5 kV até 345 kV;
- Faixa de corrente entre 1.200 A até 5.500 A;
- Maior distância entre polos;
- Exige articulação especial para não introduzir esforços sobre a linha devido aos terminais estarem apoiados nas colunas rotativas;
- Esforços provenientes de curto-circuito tendem a abrir a chave;
- Atendem a toda gama de tensões e correntes;
- Custo reduzido;

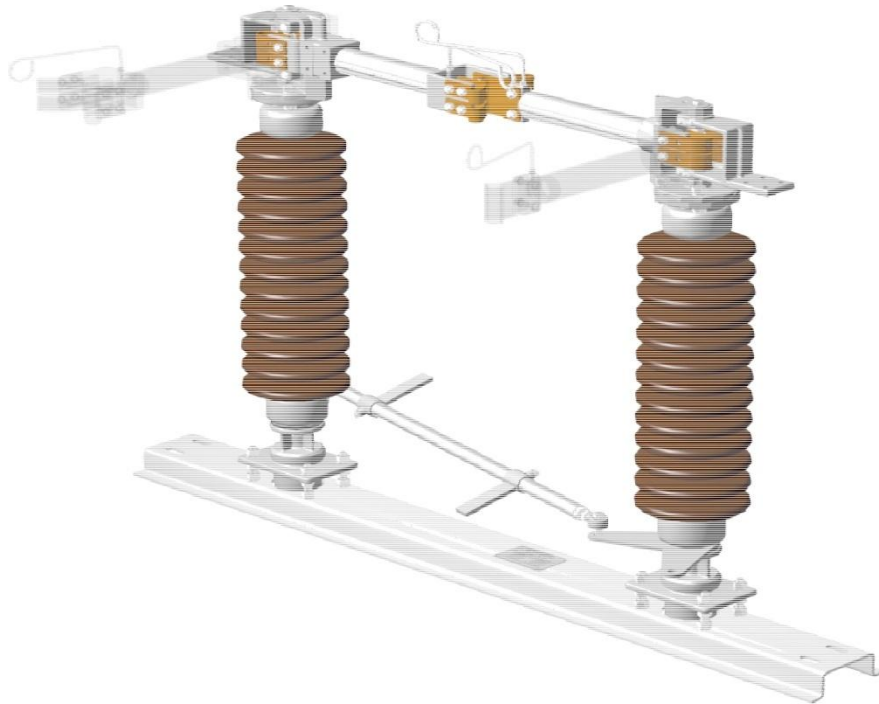


Figura 6-13 Chave com abertura central (ANSI [26] tipo E / ABNT [16] tipo AC) [7]



Figura 6-14 Chave de abertura central montada horizontalmente [29]



Figura 6-15 Chave de abertura central [30]

6.1.6. Basculante Simplificada (ANSI [26] tipo F)

As chaves seccionadoras basculantes simplificadas apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por duas colunas de isoladores laterais, uma fixa e outra rotativa;
- A coluna rotativa é disposta em uma das extremidades;
- Abertura da chave ocorre na outra extremidade;

Operativas:

- Utilizados em tensões até 34,5KV
- Grande esforço para operação devido ao peso do isolador;
- Grande impacto no fechamento;
- Apresentam pequena resistência a curto-circuito.

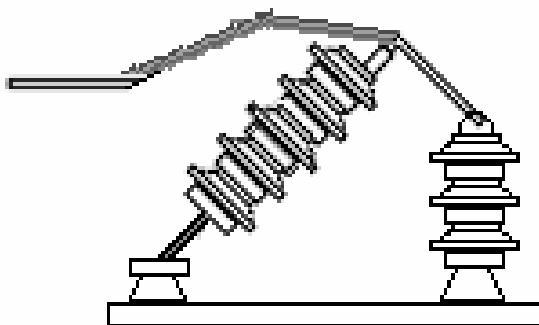


Figura 6-16 Chave basculante simplificada (ANSI [26] tipo F) [6]



Figura 6-17 Chave basculante simplificada

6.1.7. Lâmina de Terra (ANSI [26] tipo G / ABNT [16] tipo LT)

As seccionadoras pantográficas apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por 2 colunas de isoladores, sendo uma rotativa e uma fixa, que é responsável por suportar o contato superior.
- As colunas rotativas ficam na coluna inferior;
- Abertura da chave ocorre verticalmente com desdobramento central;
- A faca é articulada para os dois lados.

Operativas:

- Permite a separação da subestação em dois planos bem definidos, facilitando a manutenção e aumentando a segurança;
- Torna o arranjo da subestação compacto, pois ocupa pouco espaço;
- A faca na posição horizontal pode ser usada para ligação a terra, quando o arranjo da subestação permite.
- As articulações intermediárias diminuem a resistência aos esforços de curtos-circuitos.

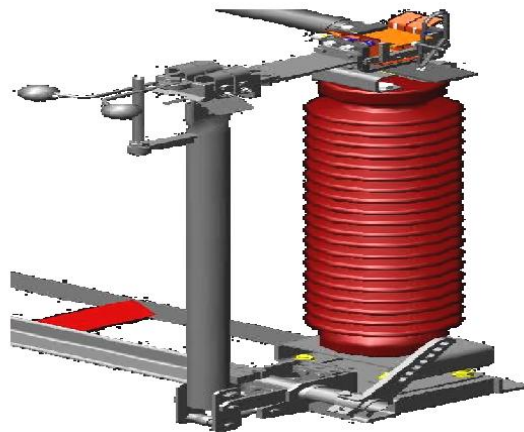


Figura 6-18 Lâmina de terra (ANSI [26] tipo G / ABNT [16] tipo LT) [7]

6.1.8. Acionamento Direto – Operação com Vara (ANSI [26] tipo H)

As seccionadoras de acionamento direto apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por duas colunas de isoladores fixos;
- A coluna rotativa é disposta em um dos isoladores;
- Abertura da chave ocorre verticalmente com o auxílio de uma vara;

Operativas:

- Maior distância entre polos;
- Exige articulação especial para não introduzir esforços sobre a linha devido aos terminais estarem apoiados nas colunas rotativas;
- Esforços provenientes de curtos-circuitos tendem a abrir a chave;
- Atendem a toda gama de tensões e correntes;
- Custo reduzido.

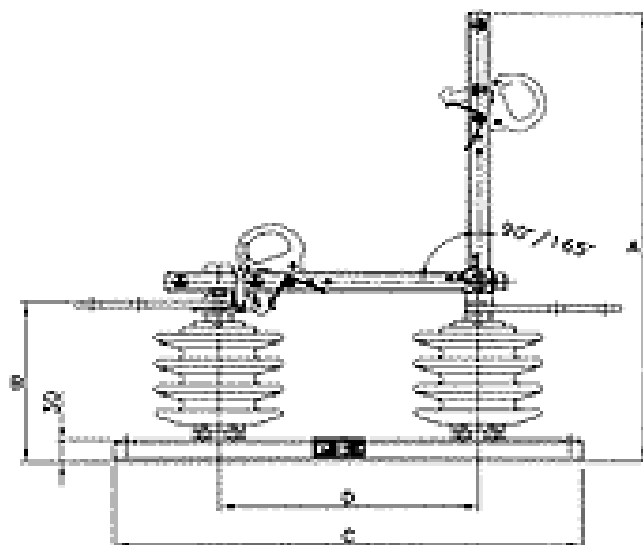


Figura 6-19 Chave com acionamento direto – operação com vara (ANSI [26] tipo H) [6]



Figura 6-20 Chave de acionamento direto - operação com vara montada verticalmente.

6.1.9. Abertura Vertical Reversa (ANSI [26] tipo J / ABNT [16] tipo VR)

As seccionadoras de abertura vertical reversa apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por três colunas de isoladores, sendo uma rotativa e duas fixas;
- A coluna rotativa fica em uma extremidade e na outra fica uma coluna fixa de suporte;
- Na parte superior fica uma coluna fixa responsável por suportar o contato superior;
- Abertura da chave ocorre verticalmente com desdobramento central.

Operativas:

- Permite a separação da subestação em dois planos bem definidos, facilitando a manutenção e aumentando a segurança;
- Torna o arranjo da subestação compacto, pois ocupa pouco espaço;
- A faca na posição horizontal pode ser usada para ligação a terra, quando o arranjo da subestação permite.



Figura 6-21 Chave com abertura vertical reversa (ANSI [26] tipo J / ABNT [16] tipo VR) [32]



Figura 6-22 Chave com abertura vertical reversa [35]

6.1.10. Dupla Abertura Rotativa em V (ANSI [26] tipo V)

As seccionadoras com dupla abertura rotativa em V apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por duas colunas de isoladores rotativas;
- As colunas rotativas ficam dispostas em um formato parecido com a letra V;
- Abertura da chave ocorre horizontalmente com abertura central;

Operativas:

- Faixa de tensão entre 15 kV até 230 kV;
- Faixa de corrente entre 1.200 A até 4.000 A;
- Maior distância entre polos;
- Exige articulação especial para não introduzir esforços sobre a linha devido aos terminais estarem apoiados nas colunas rotativas;
- Esforços provenientes de curto-circuito tendem a abrir a chave;
- Custo reduzido;



Figura 6-23 Chave com fechamento central do tipo V (ANSI [26] tipo V)



Figura 6-24 Chave de dupla abertura rotativa em V [31]



Figura 6-25 Chave de dupla abertura rotativa em "V" [28]

6.1.11. Abertura Semipantográfica Horizontal (ABNT [16] tipo SH)

As seccionadoras de abertura semipantográfica horizontal apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por três colunas de isoladores, sendo duas fixas e uma rotativa;
- A coluna rotativa fica em uma extremidade;
- Abertura da chave ocorre horizontalmente com um desdobramento central;

Operativas:

- Permite a separação da subestação em dois planos bem definidos, facilitando a manutenção e aumentando a segurança;
- Torna o arranjo da subestação compacto, pois ocupa pouco espaço;
- A faca na posição horizontal pode ser usada para ligação a terra, quando o arranjo da subestação permite.
- As articulações intermediárias diminuem a resistência aos esforços de curtos-circuitos.

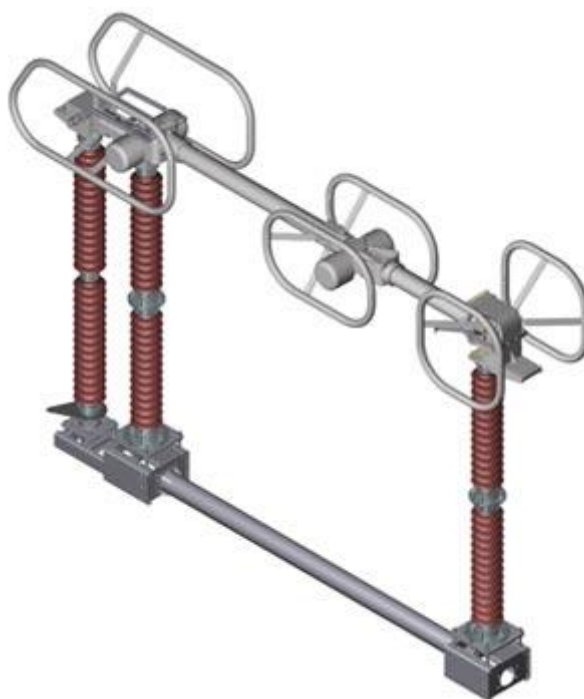


Figura 6-26 Chave com abertura semipantográfica horizontal (ABNT [16] tipo SH) [32]



Figura 6-27 Chave semipantográfica horizontal com operários realizando manutenção [28]



Figura 6-28 Chave semipantográfica horizontal [29]

6.1.12. Abertura Semipantográfica Vertical (ABNT [16] tipo SV)

As seccionadoras de abertura semipantográfica vertical apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por três colunas de isoladores, sendo duas fixas e uma rotativa;
- A coluna rotativa fica em uma extremidade;
- Abertura da chave ocorre verticalmente com um desdobramento central;

Operativas:

- Permite a separação da subestação em dois planos bem definidos, facilitando a manutenção e aumentando a segurança;
- Torna o arranjo da subestação compacto, pois ocupa pouco espaço;
- A faca na posição horizontal pode ser usada para ligação a terra, quando o arranjo da subestação permite.
- As articulações intermediárias diminuem a resistência aos esforços de curtos-circuitos.



Figura 6-29 Chave com abertura semipantográfica vertical (ABNT [16] tipo SV) [32]



Figura 6-30 Chave semipantográfica vertical com coluna superior [34]

6.1.13. Pantográfica

As seccionadoras pantográficas apresentam as seguintes características:

Construtivas:

- Cada polo é composto por 2 colunas de isoladores, sendo uma rotativa e uma fixa que é responsável por suportar o contato superior.
- As colunas rotativas ficam na coluna inferior;
- Abertura da chave ocorre verticalmente com desdobramento central;
- A faca é articulada para os dois lados.

Operativas:

- Permite a separação da subestação em dois planos bem definidos, facilitando a manutenção e aumentando a segurança;
- Torna o arranjo da subestação compacto, pois ocupa pouco espaço;
- A faca na posição horizontal pode ser usada para ligação a terra, quando o arranjo da subestação permite.
- As articulações intermediárias diminuem a resistência aos esforços de curtos-circuitos.

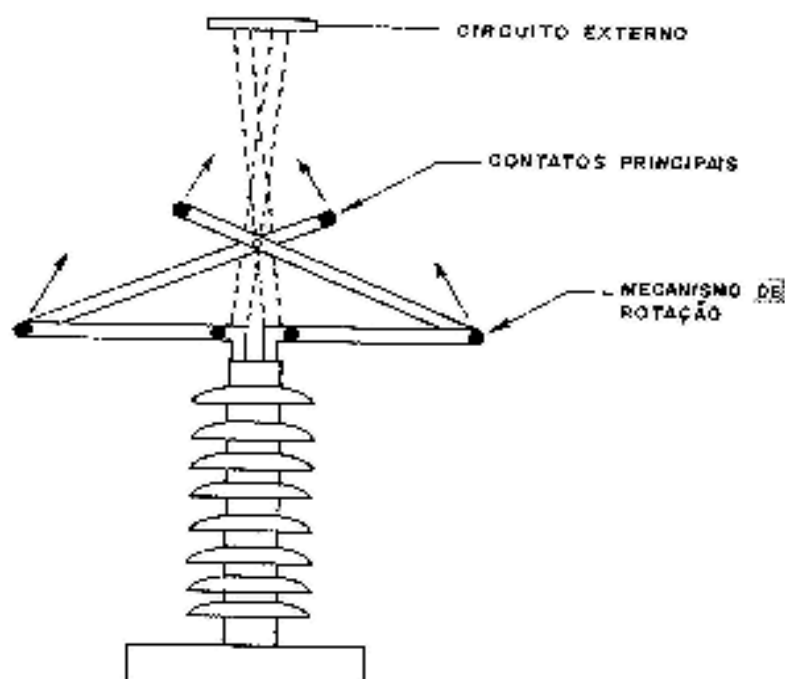


Figura 6-31 Chave pantográfica [6]



Figura 6-32 Chave pantográfica [34]



Figura 6-33 Chave pantográfica com coluna superior [34]



Figura 6-34 Chaves pantográficas em abertura com arco

6.2. Tipo de Instalação

6.2.1. Abrigadas (instalação interna)

Utilização somente para instalações internas, onde a chave e seu circuito de controle são protegidos contra vento, chuva, neve, sujeira anormal, condensação anormal e gelo.

6.2.2. Ao Tempo (instalação externa)

Utilização somente para instalações externas onde a chave e seu circuito de controle são suportáveis ao vento, à chuva, à neve, à sujeira anormal, à condensação anormal e ao gelo.

6.3. Tipo de Montagem

6.3.1. Horizontal

Neste tipo de montagem as chaves ficam posicionadas horizontalmente, com seus isoladores voltados para a parte de cima da base, conforme a Figura 6-35.

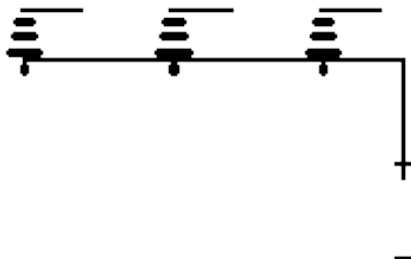


Figura 6-35 Montagem tipo horizontal [6]

6.3.2. Horizontal Invertida

Neste tipo de montagem as chaves ficam posicionadas horizontalmente, com seus isoladores voltados para a parte de baixo da base, conforme a Figura 6-36.

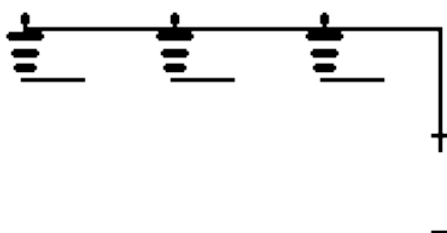


Figura 6-36 Montagem tipo horizontal invertida [6]

6.3.3. Horizontal Sobreposta

Neste tipo de montagem as chaves ficam posicionadas uma acima da outra, com seus isoladores voltados para a parte de cima da base, conforme a Figura 6-37.

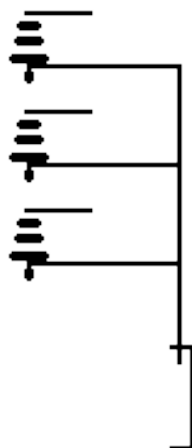


Figura 6-37 Montagem tipo horizontal sobreposta [6]

6.3.4. Lateral Sobreposta

Neste tipo de montagem as chaves ficam posicionadas lateralmente, uma acima da outra, com seus isoladores voltados para a lateral da base, conforme a Figura 6-38.

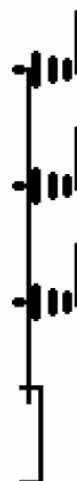


Figura 6-38 Montagem tipo lateral sobreposta [6]

6.3.5. Vertical

Neste tipo de montagem as chaves ficam posicionadas verticalmente, uma ao lado da outra, com seus isoladores voltados para a lateral da base, conforme a Figura 6-39.



Figura 6-39 Montagem tipo vertical [6]

6.4. Tipo de Acionamento

6.4.1. Chaves de Acionamento Manual

São chaves que o esforço é transmitido por ação manual, ou seja, pelo esforço do operador. Neste tipo de chave não é permitido nenhum meio de acionamento que não seja manual.

As chaves de acionamento manual podem ser classificadas como:

I. Chaves de acionamento direto

São chaves de operação individual, ou seja, polo por polo, operadas por meio de vara de manobra.

As chaves que possuem esse mecanismo de operação não são apropriadas para operarem em carga, uma vez que a velocidade de abertura é um fator importante nesse tipo de operação e está condicionada ao modo como cada operador opera a mesma.

Estas chaves possuem as seguintes características:

- Baixo custo devido à ausência de mecanismos de acionamento automático;
- Indicada apenas para baixas tensões;
- Operação lenta e individual de cada faca (polo);
- Operação difícil quando montada horizontalmente;
- Operação difícil quando em condições adversas (chuva e falta de iluminação);
- Não podem ser montadas a grande altura;
- Operação exclusivamente manual;
- Controle apenas visual.

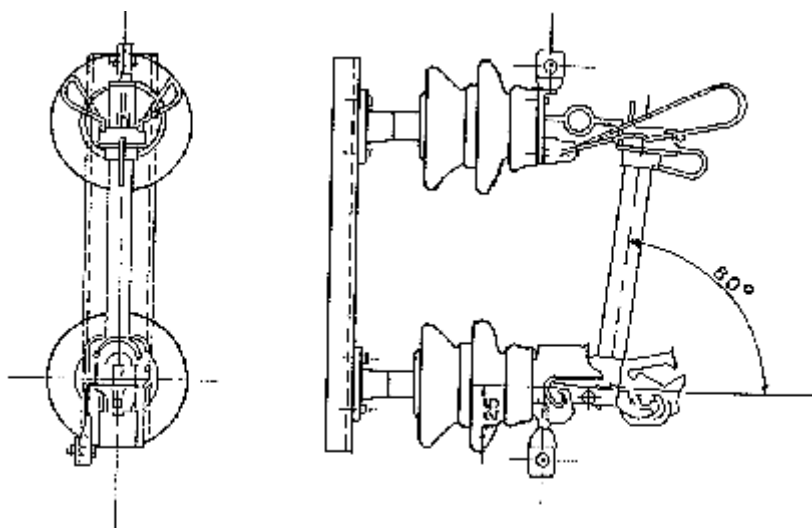


Figura 6-40 Chave com acionamento direto [6]

II. Chaves de acionamento em grupo

São chaves de operação em grupo, (mais de um polo por acionamento) operadas por meio de uma haste rígida articulada. De acordo com o movimento destas hastes temos os mecanismos de movimento alternativo e de movimento rotativo.

O acionamento alternativo é geralmente utilizado para o acionamento de chaves basculantes.

O acionamento rotativo utiliza mancais auxiliares e juntas especiais. É utilizado na maioria das chaves de montagem horizontal.

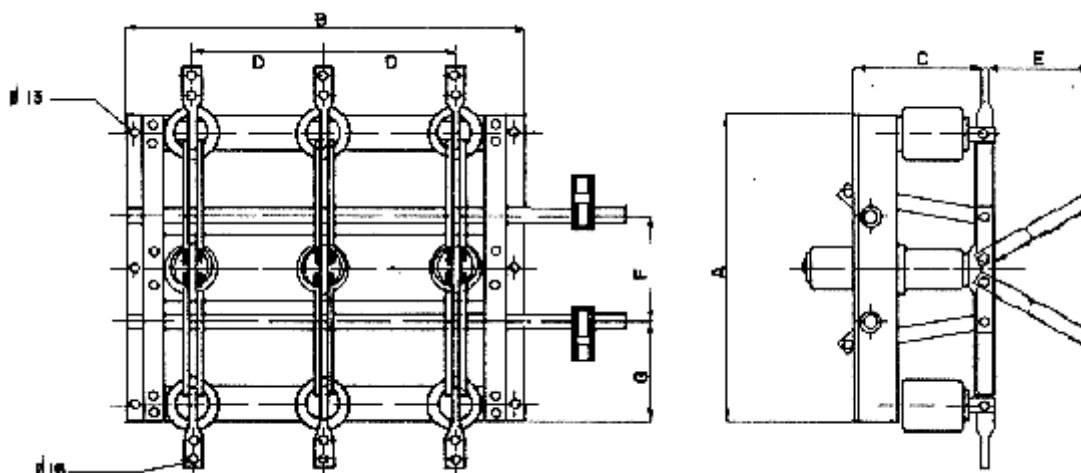


Figura 6-41 Chaves com acionamento em grupo [6]

6.4.2. Chaves de Acionamento Automático

São chaves que o esforço é transmitido por ação automatizada, ou seja, pelo esforço de um mecanismo automatizado. Neste tipo de chave não é permitido nenhum meio de acionamento que não seja automático.

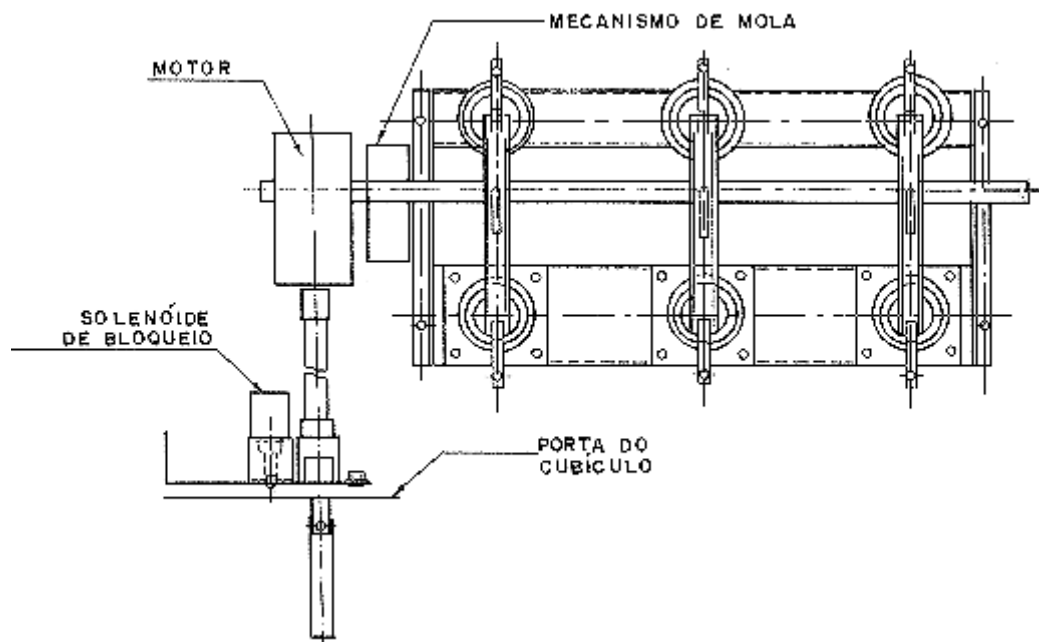


Figura 6-42 Chaves com acionamento automático [6]

As chaves de acionamento manual podem ser classificadas como:

I. Acionamento elétrico

A força de acionamento é gerada por meio de motores elétricos de corrente alternada ou de corrente contínua. Este motor se encontra acoplado ao mecanismo de acionamento rotativo.

Todos os acionamentos motorizados preveem mecanismo de operação manual de emergência, bem como dispositivo de bloqueio para evitar qualquer comando realizado à distância quando acionado manualmente.

II. Acionamento pneumático

A força de acionamento é gerada por meio de ar comprimido. São de construção relativamente mais simples e econômica que a elétrica. Este tipo de acionamento necessita de uma fonte de ar pressurizado, sendo vantajosa somente se no local de instalação possuir essa fonte.

III. Acionamento hidráulico

A força de acionamento é gerada por meio de fluido pressurizado. São de construção relativamente mais simples e econômica que a elétrica. Este tipo de acionamento necessita de uma fonte de fluido pressurizado, sendo vantajosa somente se no local de instalação possuir essa fonte.

6.5. Acessórios

6.5.1. Conectores Terminais

São dispositivos adaptados aos terminais da chave para possibilitar a conexão da chave aos condutores.

6.5.2. Chave de Contatos Auxiliares

São chaves providas de contatos auxiliares mecânicos (acionados pelo mecanismo de operação) e destinados a atuar em circuitos de sinalização e bloqueio.

Possui basicamente dois tipos de contato:

- Contato tipo “a” – Contato aberto quando a chave se encontra na posição aberta e fechado quando a mesma está fechada.
- Contato tipo “b” – Contato fechado quando a chave se encontra na posição aberta e aberto quando a mesma está fechada.

6.5.3. Dispositivo de Restrição de Curto (‘Chifres’)

Mesmo não sendo destinadas a operar em carga, as chaves podem ser aproveitadas para interromper pequenas correntes com o auxílio dos ‘chifres’. Estes se destinam a extinguir o arco, que se forma ao interromper a corrente que, apesar de pequena intensidade, seria capaz de danificar os contatos primários da chave. Essas correntes indutivas e capacitivas são originadas nas seguintes condições de operação dos seccionadores:

Correntes indutivas:

- Chaveamento de reatores ou transformadores em vazio com consequente interrupção ou estabelecimento da corrente de magnetização destes equipamentos.
- Chaveamento de barramentos ou de barramentos com transformadores de potencial.
- Operação com lâminas de terra em linhas de transmissão em manutenção próximas a linhas energizadas ou em linhas com torres de circuitos duplos, com consequente interrupção ou estabelecimento de correntes induzidas por linhas energizadas.

Correntes Capacitivas:

- Chaveamento de linhas de transmissão em vazio e de barramentos com divisores capacitivos
- Operação de lâminas de terra para a manutenção de linhas de transmissão próximas a outras linhas.
- Abertura de banco de capacitores em derivação, logo após a desenergização.
- Chaveamento de banco de capacitores em série.

As chaves com resistores e 'chifres' mantêm o contato durante o percurso de abertura da haste da chave, de forma a evitar a abertura abrupta, em alta velocidade. Por causa dessa alta velocidade o arco é rapidamente extinto.

Os 'chifres' fazem com que quando a lâmina começa a sair do contato fixo, o caminho da corrente fica estabelecido entre os 'chifres', evitando assim que o contato da chave seja queimado pelo arco elétrico.

Os 'chifres' de abertura rápida têm características de funcionamento muito superiores às dos "chifres" comuns, podendo interromper até 15 A em carga de linhas e correntes de magnetização de transformadores em 138 kV.

Em sistemas até 362 kV existem seccionadores com dispositivos que permitem sua operação com corrente de maior intensidade. Dependendo da intensidade da corrente, são utilizados alguns dispositivos para restringir o arco conforme mostrados abaixo:

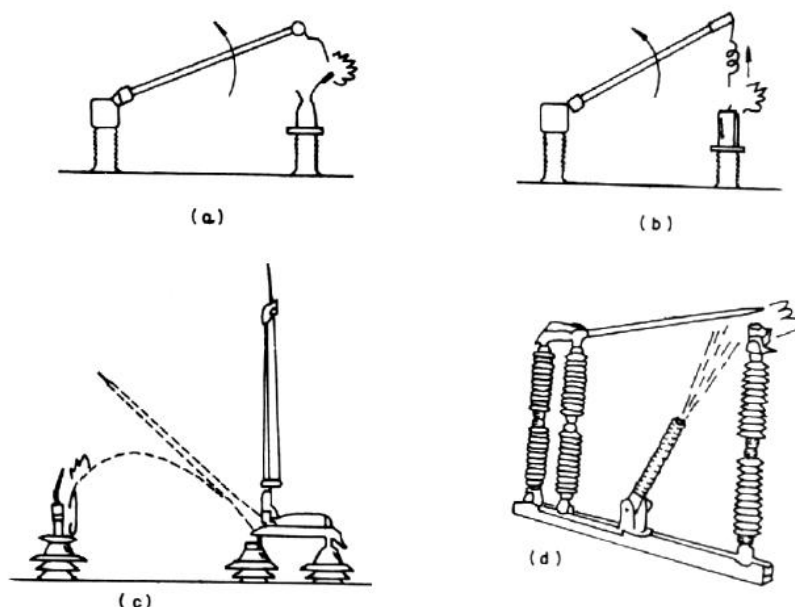


Figura 6-43 Alguns tipos de dispositivos para restringir arcos. [6]

Segundo a Figura 6-43, esses dispositivos podem ser:

- 'Chifres' nos contatos principais, com a interrupção ou restabelecimento da corrente sendo realizados pelos 'chifres', sem danos aos contatos principais.

- b) Molas nos contatos principais, com a interrupção da corrente sendo realizada pela mola.
- c) Hastes flexíveis, com a interrupção da corrente sendo realizada pela haste.
- d) Sopros de ar ou nitrogênio (N_2), durante a interrupção ou restabelecimento da corrente, o sopro fica direcionado para o local do surgimento do arco, fazendo seu resfriamento e alongamento.

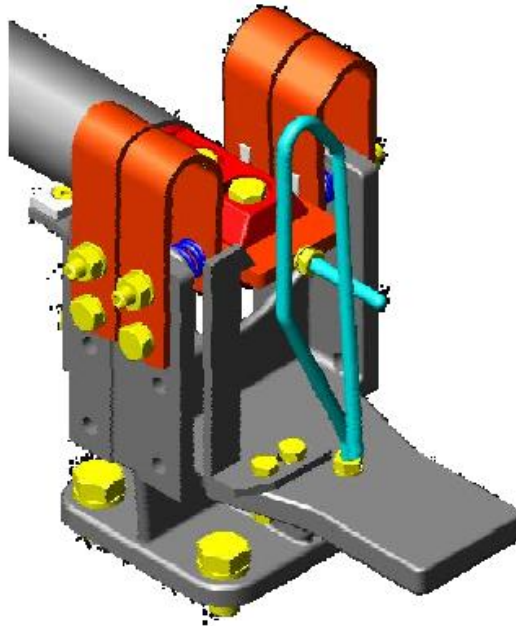


Figura 6-44 'Chifres' [7]

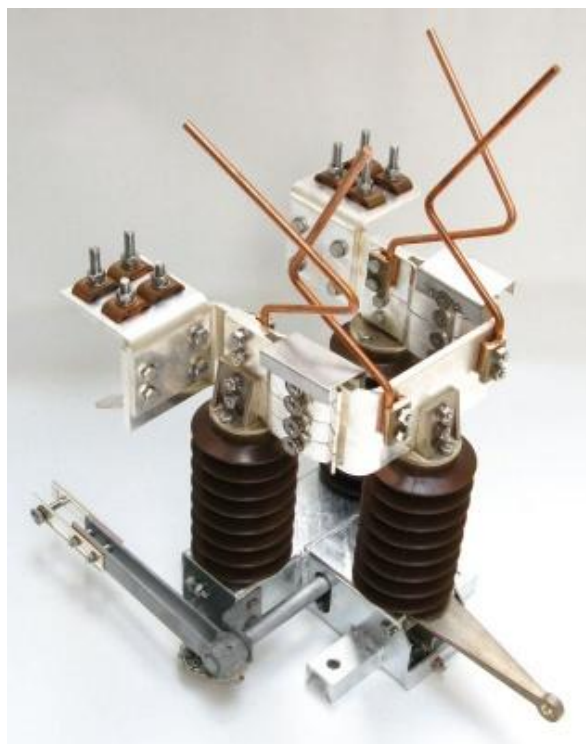


Figura 6-45 'Chifres' [37]

6.5.4. Conectores para Fixação

São conectores utilizados para fixação de tubos ou cabos aos terminais da seccionadora.

6.5.5. Conectores de Aterramento

São conectores de aterramento utilizados para a fixação dos cabos de aterramento à base dos seccionadores.

6.5.6. Indicador de Posição

Indicam a posição das lâminas das chaves, ou seja, indicam se estão abertas ou fechadas.

6.5.7. Dispositivo de Intertravamento

São dispositivos que realizam o intertravamento entre o mecanismo de comando manual e o motorizado das lâminas dos seccionadores, entre as lâminas principais e a de terra, etc.



Figura 6-46 Dispositivo de intertravamento mecânico [7]

6.5.8. Mecanismo Motorizado

É responsável por transmitir a lâmina o torque necessário para a realização do movimento de abertura ou de fechamento do circuito.

É composto por uma caixa com um motor com redutor e os componentes elétricos são acoplados internamente.



Figura 6-47 Painei com um mecanismo motorizado [7]

6.5.9. Acessórios para Mecanismo de Operação

São botoeiras, termostatos, lâmpadas indicadoras, controles de operação etc., utilizados no mecanismo de operação motorizado.

7. OPERAÇÃO

No processo de operação das chaves alguns conceitos são bastante empregados pelos operadores para descrever alguns passos ou métodos de operação. Além disso, são muito importantes para a especificação das chaves, além de fornecer informações essenciais para a sua compreensão. Os conceitos mais empregados, segundo ABNT [16] / IEC [25] são:

7.1. Manobra

É a transferência dos contatos móveis de uma posição para a posição adjacente. Para uma chave essa operação pode ser descrita como uma operação de abertura e fechamento.

7.2. Ciclo de Manobras

É uma sucessão de manobras de operação de uma posição para outra retornando para a primeira passando por todas as posições, se existirem.

7.3. Manobra de Fechamento

Uma operação pelo qual o dispositivo é levado da posição aberta para a posição fechada.

7.4. Manobra de Abertura

Uma operação pelo qual o dispositivo é levado da posição fechada para a posição aberta.

7.5. Manobra Realizada com Sucesso

Uma operação que, de acordo com os requisitos especificados, é desenvolvida para assegurar que os contatos auxiliares da chave, estão nas posições correspondentes às posições de aberto ou fechado, de acordo com os contatos principais da chave.

7.6. Manobra Manual Dependente

Uma operação realizada mediante a energia manual aplicada pelo operador, tal que a velocidade e a força de operação são dependentes da ação do operador.

7.7. Manobra com Acumulação de Energia

Uma operação realizada mediante a aplicação da energia acumulada no mecanismo de acionamento, tendo como prioridade a conclusão da operação e suficiente para completar todas as condições pré-determinadas.

Este tipo de operação pode ser dividido por:

- Modo como a energia é acumulada (mola, peso etc.);
- Origem da energia (manual, elétrica etc.);
- Modo como é aplicada a energia (manual, elétrica etc.).

7.8. Manobra Manual Independente

Uma operação realizada mediante a aplicação da energia de origem manual, armazenada e liberada em uma operação contínua, tal que a velocidade e a força de operação independem da ação do operador.

7.9. Posição Fechada

É a posição no qual a continuidade predeterminada do circuito principal é assegurada.

7.10. Posição Aberta

É a posição no qual a distância segura predeterminada entre os contatos do circuito principal é assegurada.

7.11. Dispositivo de Intertravamento

Um dispositivo que faz a operação da chave ser dependente da posição ou operação de um ou mais componentes do equipamento.

8. CIRCUITOS DE CONTROLE

Neste capítulo serão abordadas as características essenciais dos circuitos de controle que são aplicados às chaves seccionadoras. Para desenvolver um circuito de controle, o projetista deve planejá-lo de forma a respeitar as condições específicas do projeto.

Os circuitos de controle são essenciais para o perfeito funcionamento das chaves seccionadoras. Sem eles, o sistema não seria operado de forma remota e diversas operações indevidas poderiam ser efetuadas.

Segundo a AREVA [30], os circuitos de controle das chaves seccionadoras são divididos em cinco partes: circuito do motor, circuito de aquecimento, iluminação e tomada, circuito de bloqueio, circuito de comando e circuito de sinalização.

8.1. Circuito de Controle do Motor

O circuito do motor é o circuito responsável pela alimentação dos motores que empregam o movimento às chaves seccionadoras. Cada polo tem o seu circuito do motor independente.

As ligações são feitas a partir de um polo e desse polo são levadas para os outros, funcionando como uma espécie de concentrador. Os circuitos do motor são alimentados a partir de um disjuntor tripolar, ou seja, que possui três fases, e a partir dele é desenvolvido o circuito de controle de cada motor, os circuitos envolvidos por uma caixa se encontram fora do circuito principal conforme Figura 8-1.

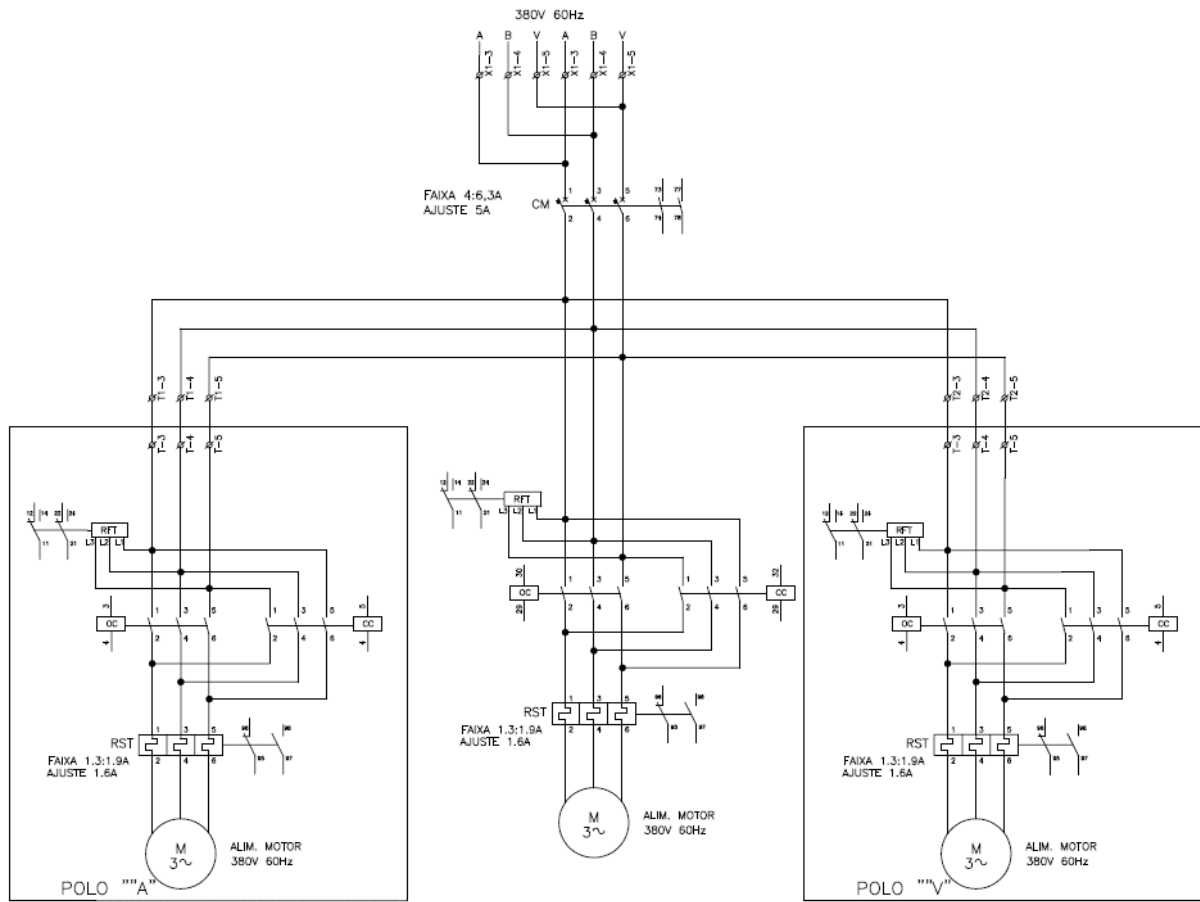


Figura 8-1 Circuito de controle do motor completo [30]

Para um melhor entendimento, veremos o circuito de um único motor, já que os demais são idênticos.

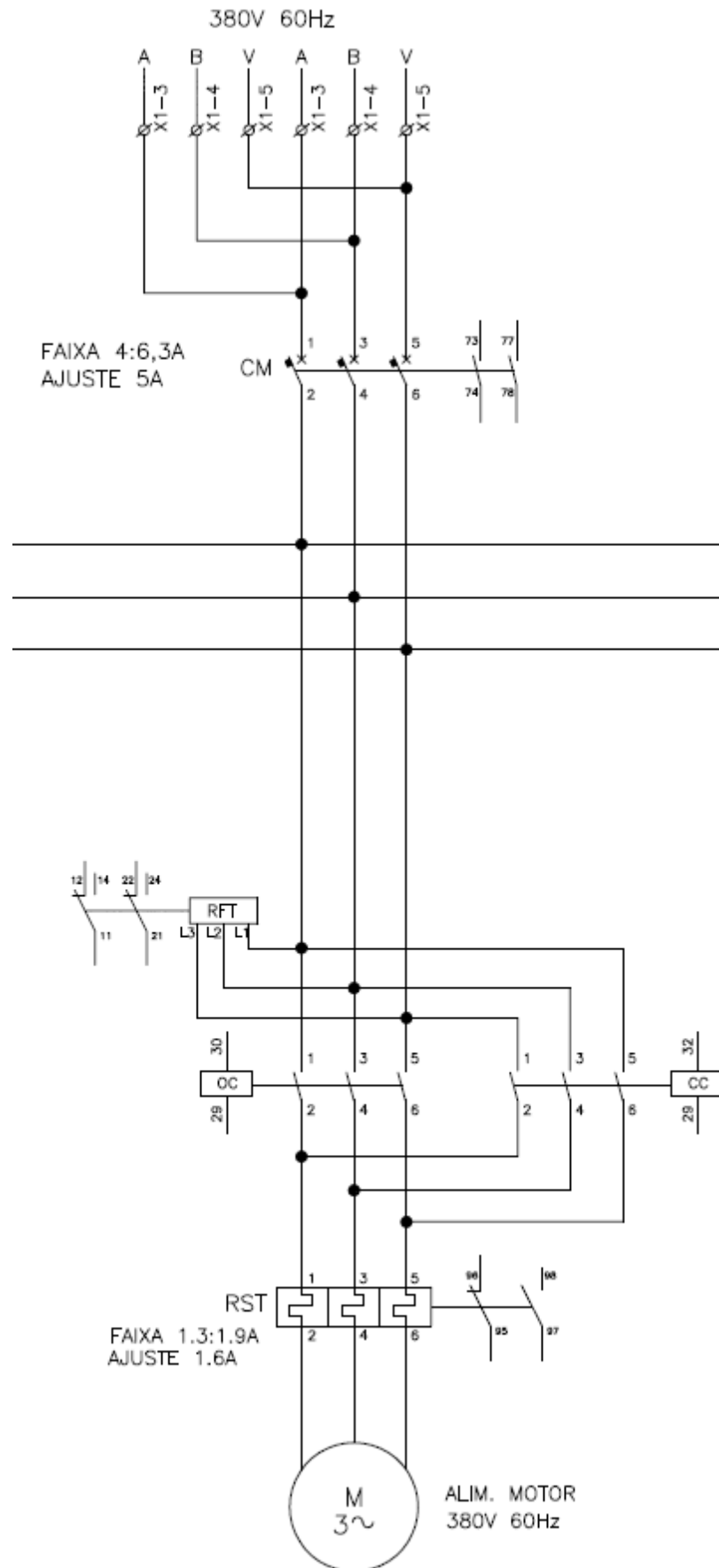


Figura 8-2 Circuito de controle de um único motor [30]

A, B e V: são as fases de alimentação do motor;
 CM: Disjuntor tripolar;
 RFT: Relé de falta e assimetria entre fases, mínima e máxima tensão;
 OC: Contator tripolar para abertura da chave;
 CC: Contator tripolar para o fechamento da chave;
 RST: Relé térmico de sobrecarga;
 M: Motor trifásico.

Como podemos ver, todos os equipamentos de controle possuem contatos auxiliares de sinalização das ocorrências para os demais circuitos de controle que veremos mais adiante.

Nesse circuito, a alimentação é feita por três fases ligadas ao disjuntor CM, cuja função é interromper a alimentação do circuito caso haja sobrecorrente e desligar a alimentação do circuito, caso seja necessário.

Passando pelo disjuntor, é ligada, em paralelo ao circuito, a bobina do relé de falta e assimetria (RFT). Sua função é verificar se o circuito tem alguma falta de fase e se essas fases estão simétricas. Caso ocorra uma dessas situações, é enviado um alarme através dos contatos auxiliares para o centro de controle.

Após o relé, encontramos os contatos de dois contadores, um responsável pela abertura (OC) e o outro responsável pelo fechamento da chave (CC). Como podemos ver, para efetuar a abertura ou fechamento, esses contadores realizam a troca das fases na alimentação do motor. Essa troca é feita para que o motor possa girar em dois sentidos: avante e à ré, fazendo com que a chave abra e feche. Esse circuito é chamado, em especial, de circuito de reversão do motor.

Finalmente, junto ao motor, encontramos os termostatos do relé térmico RST. Sua função é verificar se não ocorre sobreaquecimento ou sobrecarga do motor. De maneira idêntica ao relé RFT, é enviado um alarme através dos contatos auxiliares para o centro de controle.

8.2. Circuito de Controle de Aquecimento, Iluminação e Tomada

Esse circuito é responsável por manter os demais circuitos com temperatura ideal de funcionamento, sem umidade e prover aos operadores, iluminação e tomada auxiliar para a utilização de outros equipamentos, por exemplo, *laptops*, furadeiras etc.

Da mesma forma que o circuito de controle do motor, esse circuito é independente, ou seja, cada polo possui o seu circuito e sua alimentação vem do painel principal, conforme Figura 8-3.

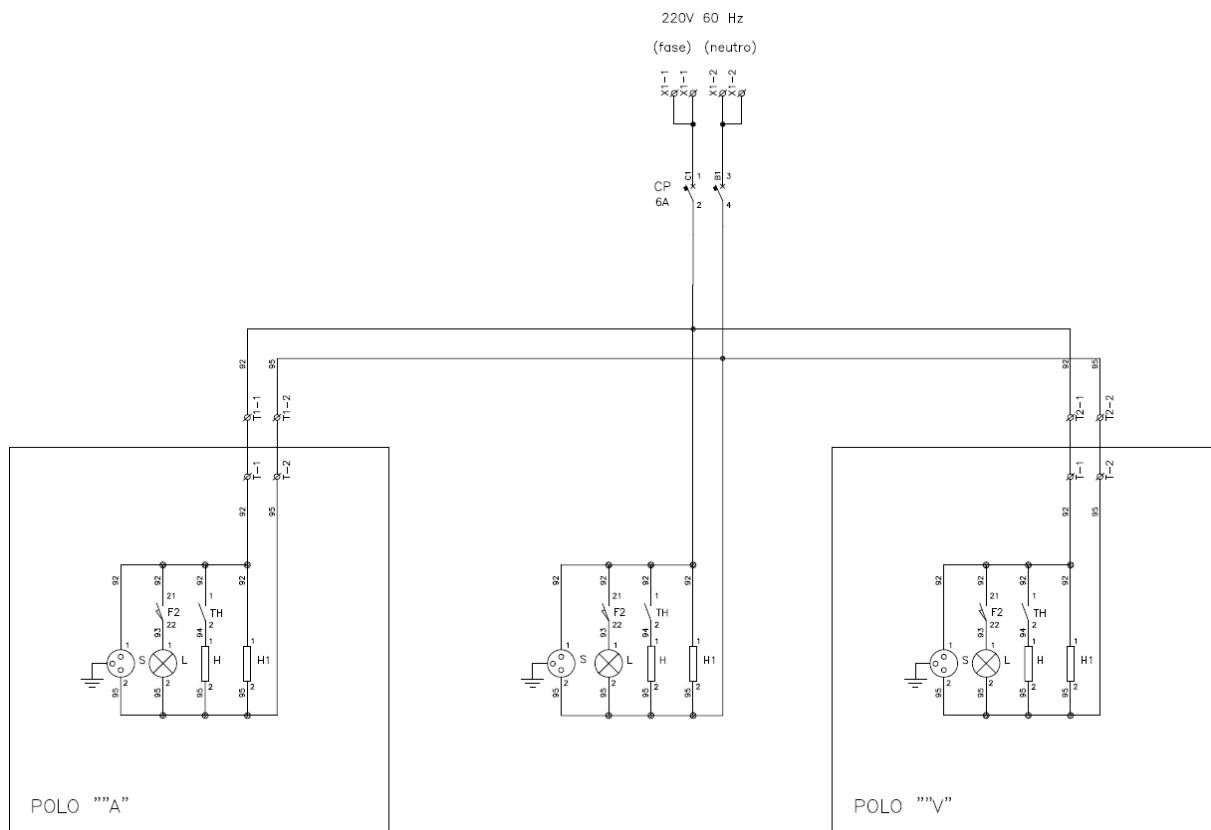


Figura 8-3 Circuito completo de aquecimento, iluminação e tomada. [30]

Para um melhor entendimento, veremos o circuito de um único polo, já que os demais são idênticos.

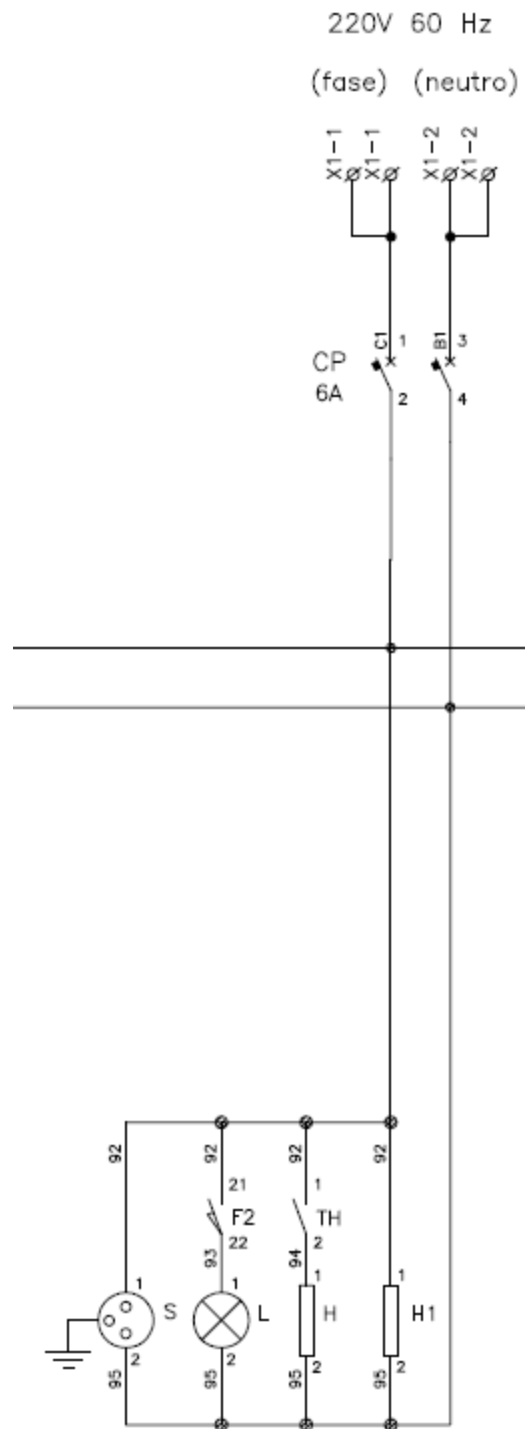


Figura 8-4 Circuito de controle de aquecimento, iluminação e tomada individual [30].

CP: Disjuntor termomagnético bipolar;

H: Resistor anticondensação;

H1: Resistor de aquecimento;

TH: Termostato;

F2: Chave fim de curso da porta externa;

L: Lâmpada;

S: Tomada auxiliar.

Nesse circuito, a alimentação é feita por duas fases ligadas ao disjuntor CP, cuja função é interromper a alimentação do circuito caso haja sobrecorrente e desligar a alimentação do circuito, caso seja necessário.

Passando pelo disjuntor, é ligado em paralelo ao circuito, o resistor anticondensação H1, cuja função é eliminar a umidade do sistema e evitar a condensação dentro da caixa. Seguindo o circuito, em paralelo, encontramos os contatos do termostato TH em série com o resistor de aquecimento H. Sua função é verificar a temperatura da caixa e alimentar o resistor de aquecimento, caso seja necessário.

Posteriormente, encontramos a chave de fim de curso F2 ligada em série com a lâmpada. Sua função é prover aos operadores, quando a caixa está aberta, iluminação local necessária para realização da manutenção.

Finalmente, temos a tomada S, como dito anteriormente, sua função é prover alimentação auxiliar para utilização dos operadores.

8.3. Circuito de Controle de Bloqueio

Esse circuito é composto pelo dispositivo de bloqueio eletromecânico para operação manual de emergência do mecanismo de operação mecanizado (Figura 8-5) e pelo circuito de bloqueio (Figura 8-6).

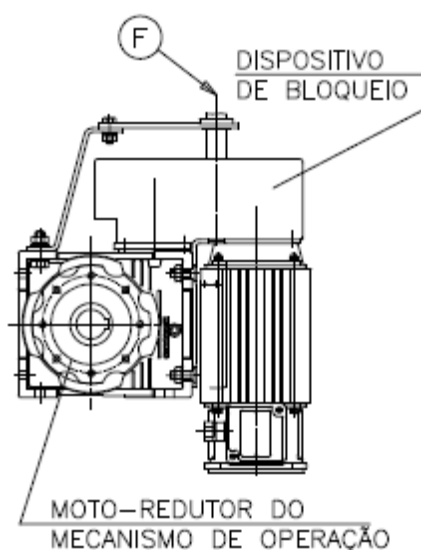


Figura 8-5 Dispositivo de bloqueio eletromecânico para operação manual de emergência do mecanismo de operação mecanizado [30]

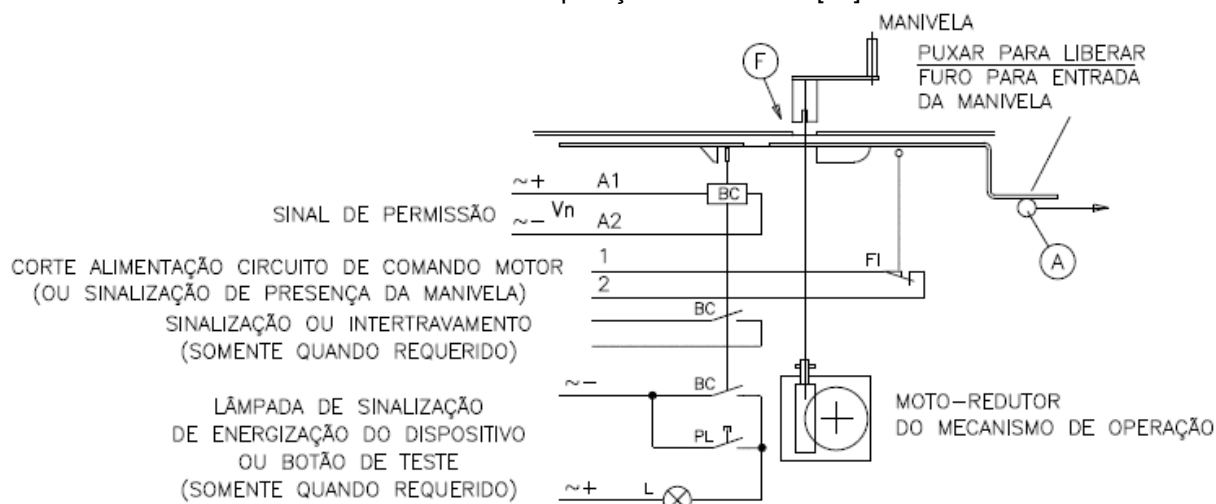


Figura 8-6 Circuito de bloqueio [30]

F: Furo para introdução da manivela;

A: Tampa;

BC: Dispositivo de bloqueio eletromecânico para operação manual de emergência;

FI: Dispositivo de bloqueio eletromecânico para operação manual de emergência;

PL: Botão de teste.

Esse circuito de controle funciona da seguinte maneira:

Quando na presença de tensão no circuito auxiliar (posição Local), o contator BC é energizado (terminais A1 e A2), habilitando puxar a tampa A para liberação do furo F de inserção de manivela. O *micro-switch* FI abre (terminais 1 e 2), cortando a alimentação do circuito de comando do motor, ou em caso de mecanismo de operação sem motor (apenas manual), indicando a presença da manivela.

Outros contatos do contator BC podem ser utilizados, quando requerido, para sinalização ou bloqueio da operação de outros equipamentos.

Essa operação manual somente é executada em caso de extrema necessidade, pois o dispositivo de intertravamento elétrico e de proteção do seccionador, e do sistema no qual esteja instalado, são suprimidos.

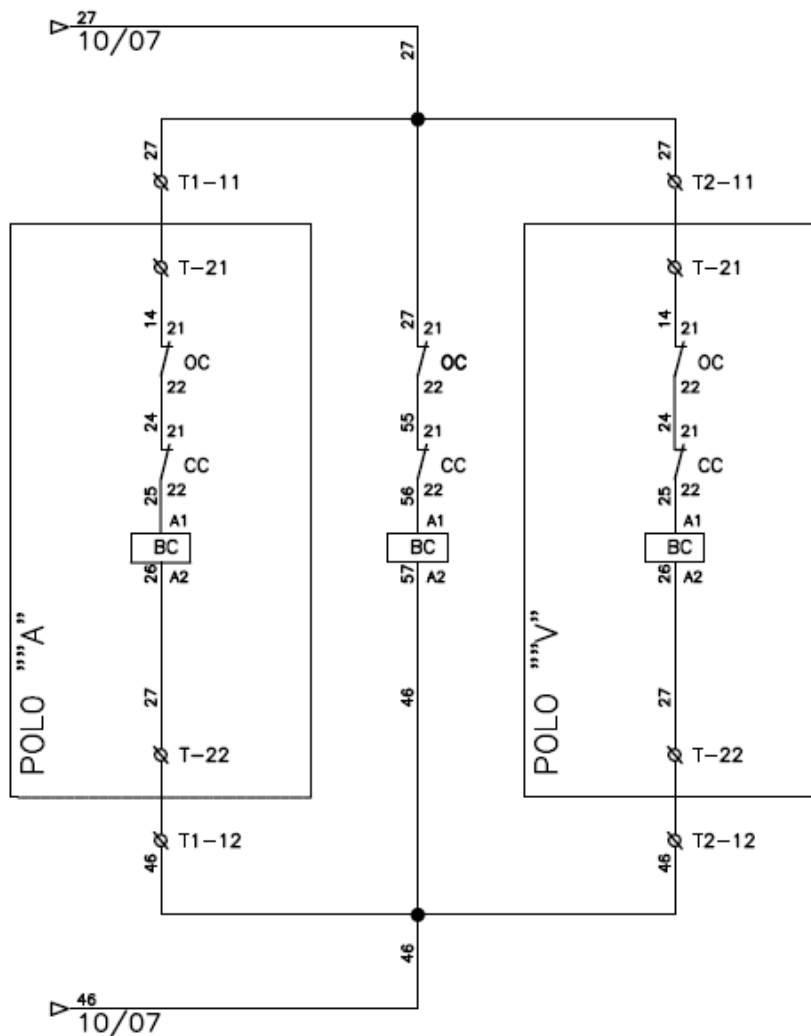


Figura 8-7 Circuito unifilar de bloqueio eletromecânico [30]

8.4. Circuito de Comando

O circuito de comando é o circuito principal da chave seccionadora. É a partir dele que os mandos de comando são enviados para os circuitos dos motores e é para onde todas as sinalizações pertinentes são enviadas.

Esse circuito é constituído de diversos outros circuitos (Figura 8-8), que serão mostrados a seguir.

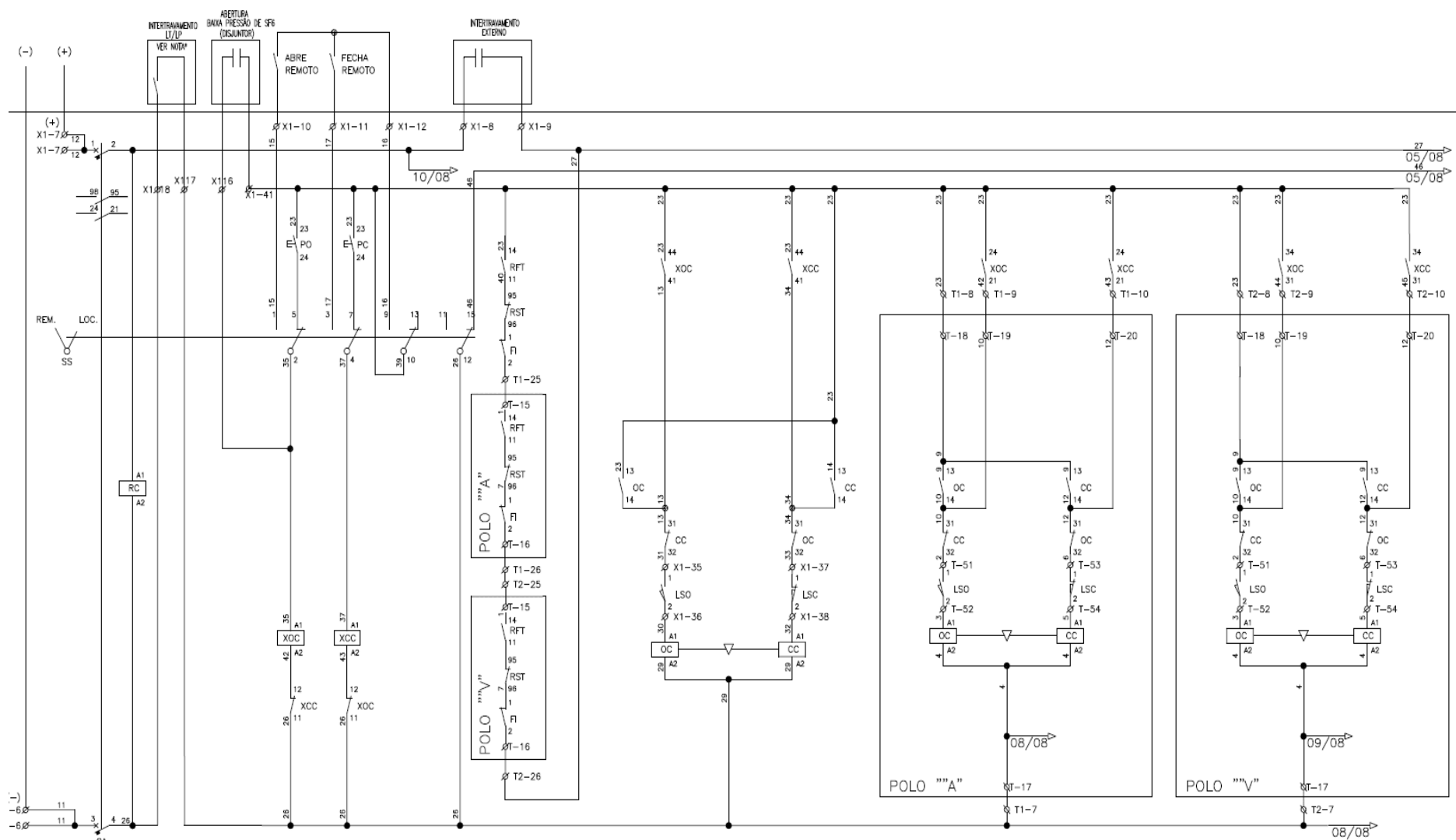


Figura 8-8 Circuito de comando completo [30]

Para uma melhor compreensão, os circuitos serão divididos entre circuito de intertravamento, circuito local/remoto e circuito de comando.

8.4.1. Circuito de Intertravamento

Este circuito é responsável por estabelecer o intertravamento das chaves e evitar comandos indevidos. Seu funcionamento é dado pelos dispositivos de intertravamento externo e da lâmina principal ou da lâmina de terra (depende do tipo de chave utilizada no circuito) sinalizados na Figura 8-9.

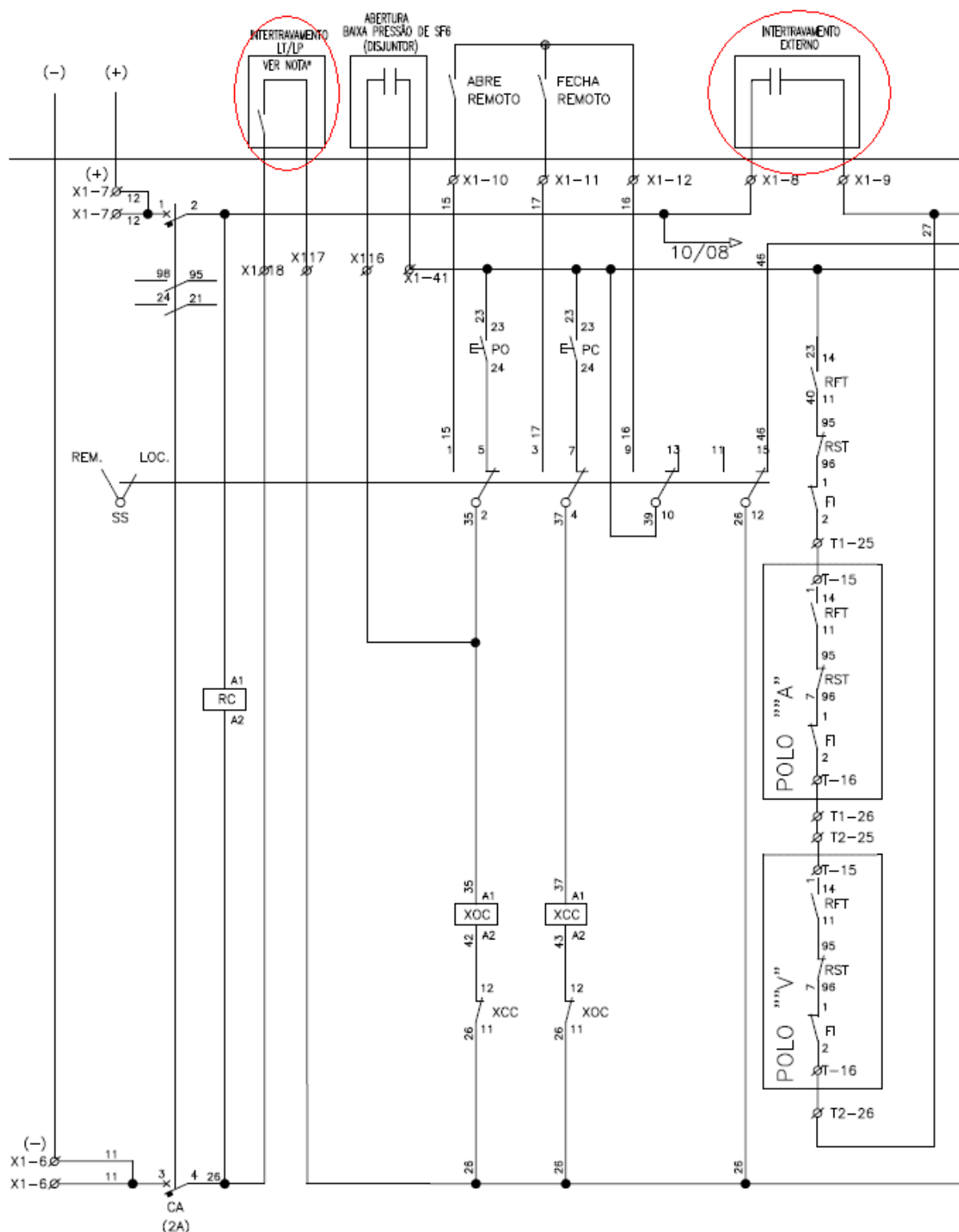


Figura 8-9 Circuito de Intertravamento [30]

8.4.2. Circuito Local/Remoto

Esse circuito é responsável por passar o comando da chave seccionadora para o centro de controle (posição Remoto) ou para a operação local (posição Local), através de botoeiras em campo.

Seu funcionamento pode ser visto na Figura 8-10.

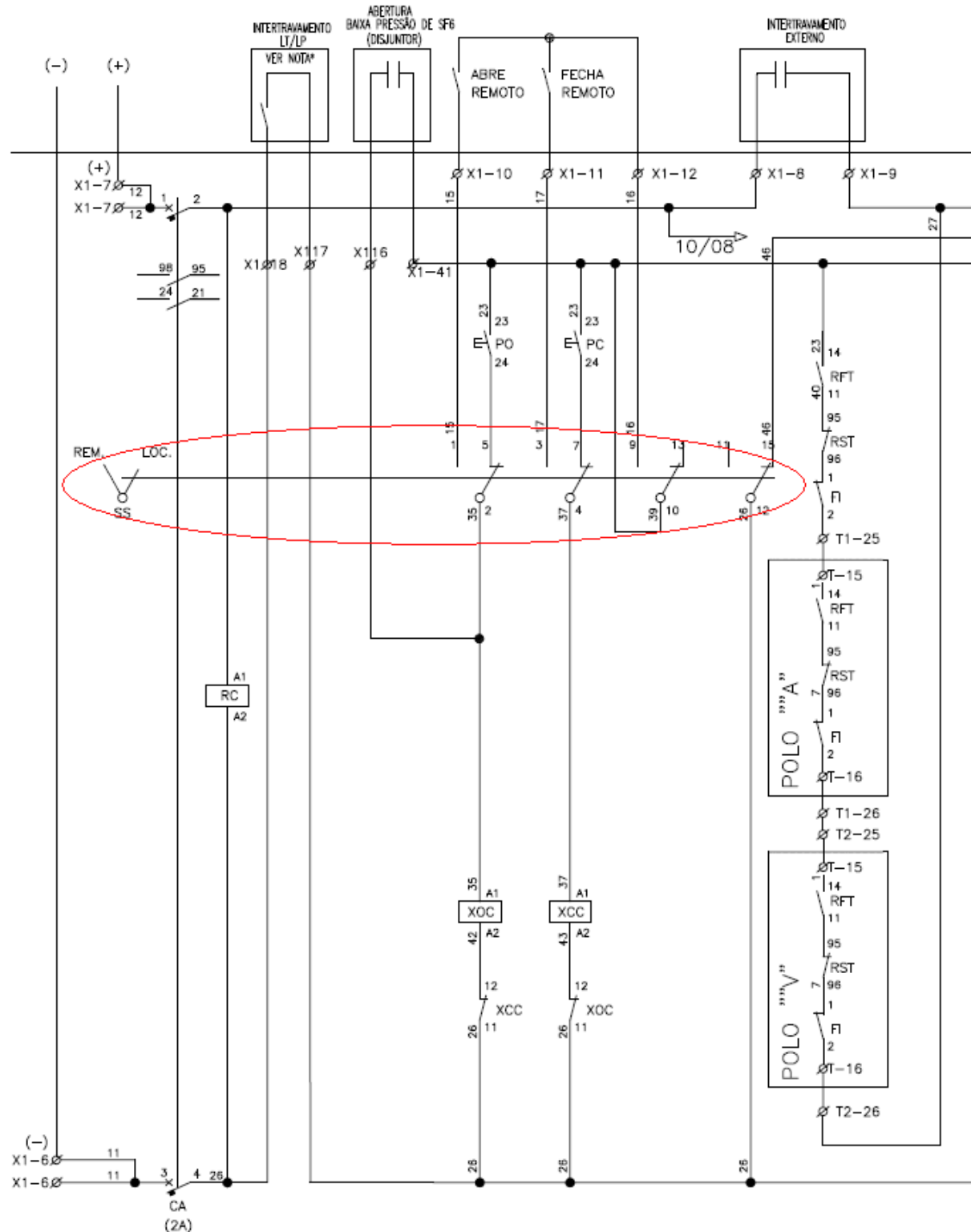


Figura 8-10 Circuito Local/Remoto [30]

8.4.3. Circuito de Comando

O circuito de comando é o circuito responsável por enviar os comandos propriamente ditos para as seccionadoras. Eles são dotados de diversos mecanismos para evitar que algum comando seja enviado indevidamente conforme pode ser visto na Figura 8-11.

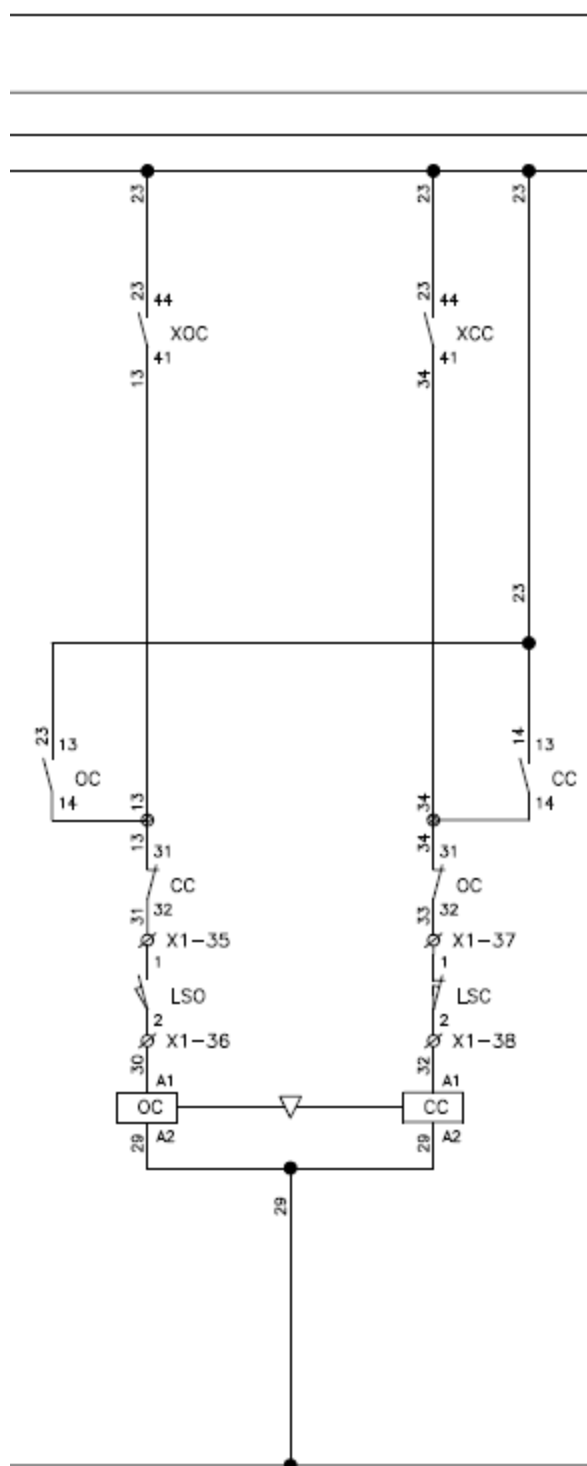


Figura 8-11 Circuito de comando [30]

XOC: Contato do relé XOC

XCC: Contato do relé XCC

OC: Bobina

Seu funcionamento é dado do seguinte modo:

- Após as bobinas dos relés XOC ou XCC serem alimentadas pelo envio do comando, seja do campo ou do centro, os contatos normalmente abertos desses relés são fechados, energizando o circuito de comando.
- Com o circuito energizado, a bobina de comando somente será alimentada se o contato de campo LSO ou LSC estiver dando condição de operação. Esses contatos representam o estado físico da chave seccionadora. Quando a chave está na posição fechada o contato LSO fecha e o contato LSC abre, evitando assim que seja enviado comando de abertura quando a chave se encontra aberta e comando de fechamento quando a chave está fechada.
- Com o contato de campo dando permissão de comando, a bobina do contator OC ou CC (OC se o comando for de abertura e CC se o comando for de fechamento) será energizada, fazendo com que o contato auxiliar normalmente aberto OC 13-14 ou CC 13-14 feche, criando o selo do circuito (permite a alimentação da bobina do contator até o final da operação) e o contato normalmente fechado OC 31-32 ou CC 31-32 abra, evitando que o outro circuito opere.
- Com a energização da bobina de comando, os contatos dessa bobina no circuito de alimentação do motor são fechados, fazendo com que o motor gire, até completar a ação do comando.
- Quando a ação é concluída, o contato de campo LSO ou LSC troca de estado, fazendo com que a bobina seja desenergizada e o selo aberto, interrompendo a ação do motor.

8.5. Circuito de Sinalização

O circuito de sinalização tem por finalidade, informar tanto os operadores de campo, através de lâmpadas, quanto ao centro de controle, através de contatos secos ou protocolos de comunicação, os estados e alarmes das chaves seccionadoras.

Segundo a AREVA [30], esses circuitos de sinalização são:

- **Sinalização aberto – fechado**

Indica o estado da seccionadora.

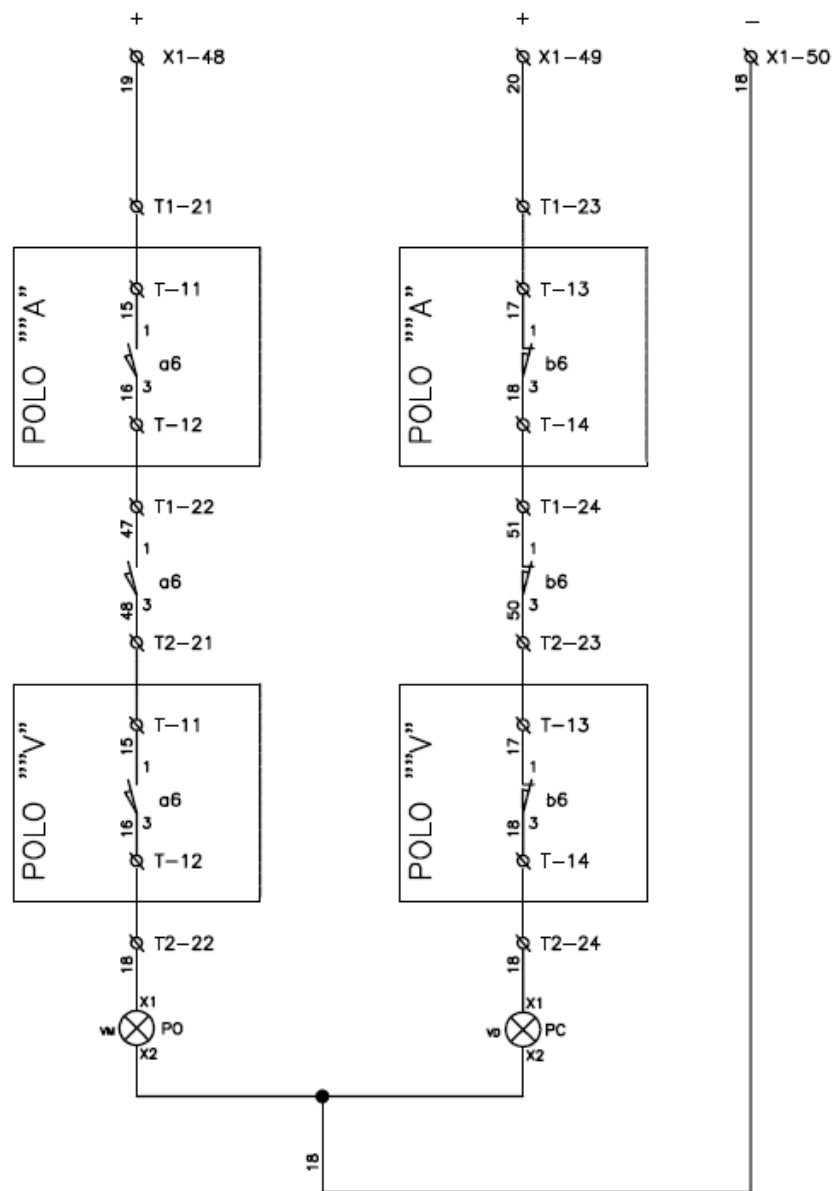


Figura 8-12 Sinalização do seccionador [30]

- **Alarme de sobrecarga do circuito do motor**

Indica para o centro de controle se o motor apresenta sobrecarga.

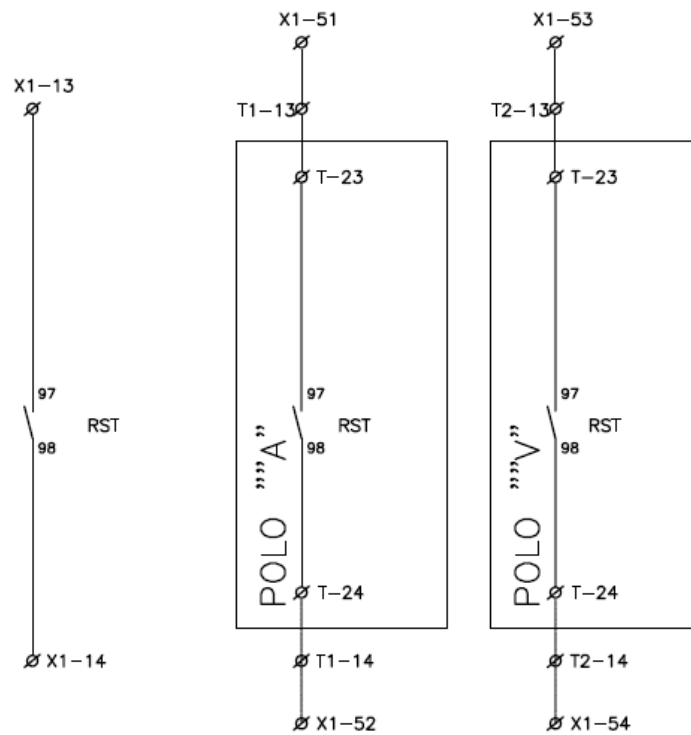


Figura 8-13 Circuito de alarme de sobrecarga do motor [30]

- **Alarme de falta de fase no circuito do motor**

Indica para o centro de controle se falta alguma fase no circuito do motor.

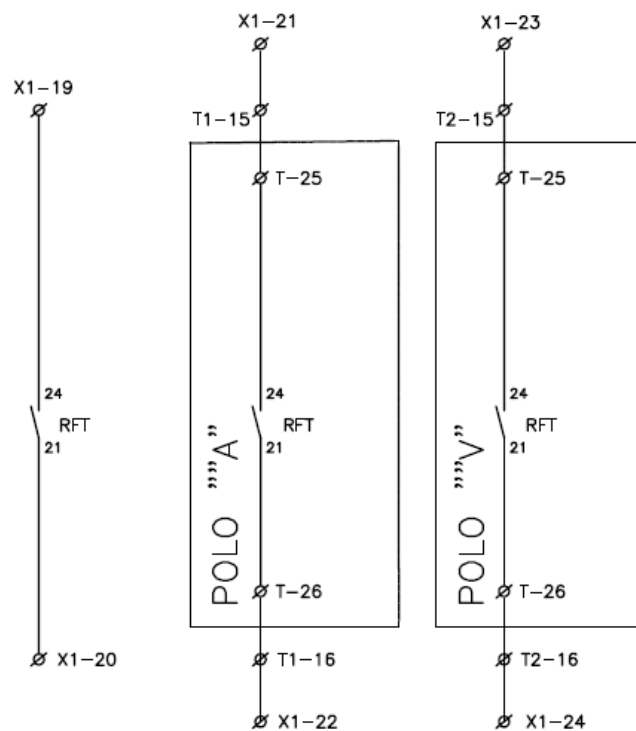


Figura 8-14 Circuito de alarme de falta de fase no circuito do motor [30]

- **Circuito de sinalização de disjuntor do circuito de comando desligado**

Indica se o disjuntor do circuito de comando está desligado.

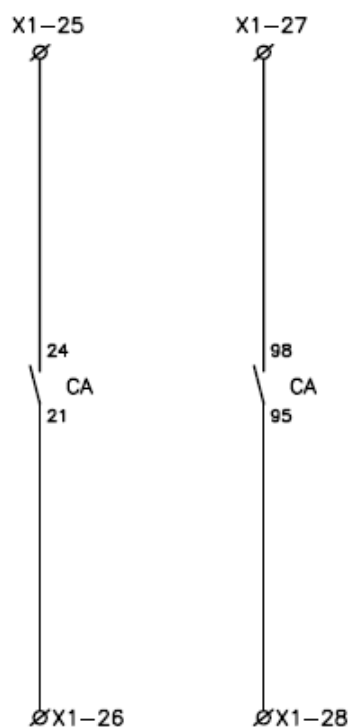


Figura 8-15 Circuito de sinalização do disjuntor do circuito de comando desligado [30]

- **Circuito de sinalização do disjuntor do circuito do disjuntor desligado**

Indica se o disjuntor do circuito do motor está desligado.

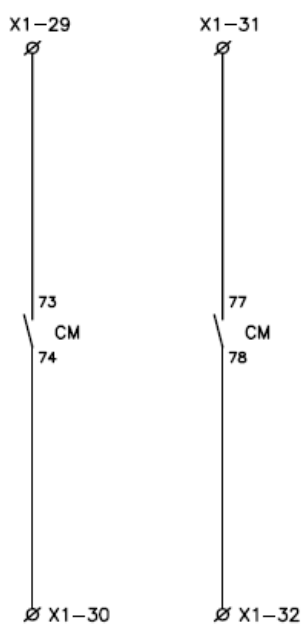


Figura 8-16 Circuito de sinalização do disjuntor do circuito do motor desligado [30]

- **Circuito de sinalização de discordância de polos**

Indica se há discordância de polos.

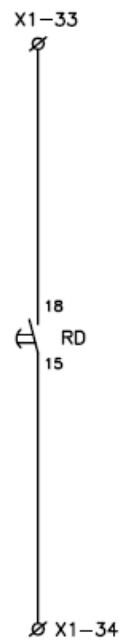


Figura 8-17 Circuito de sinalização de discordância de polos [30]

- **Circuito de sinalização Local / Remoto**

Indica se o circuito está com comando local ou com comando remoto.

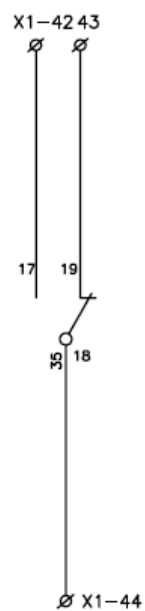


Figura 8-18 Circuito de sinalização Local / Remoto [30]

9. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS – CARACTERÍSTICAS NOMINAIS DOS SECCIONADORES E CHAVES DE TERRA

9.1. Tensão Nominal

Para ABNT [16] / IEC [25], a tensão nominal indica o limite máximo da tensão do sistema no qual a chave irá se conectar. Os valores padronizados das tensões nominais são dados na Tabela 9-1, Tabela 9-2 e na Tabela 9-3:

Tabela 9-1 Valores de tensão nominal para Range I (ABNT [16] / IEC [25])

Range I - Para tensões iguais ou inferiores a 245 kV												
Série I - Tensão Nominal (kV _{eficaz})												
3,6	7,2	12	17,5	24	36	52	72,5	100	123	145	170	245
Série II (Baseado nos valores praticados na América do Norte) - Tensão Nominal (kV _{eficaz})												
4,76	8,25	15	25,8	38	48,3	72,5						

Tabela 9-2 Valores de tensão nominal para Range II (ABNT [16] / IEC [25])

Range II - Para tensões superiores a 245 kV												
Tensão Nominal (kV _{eficaz})												
300	362	420	550	800								

Para ANSI [26] a tensão nominal indica o maior valor eficaz fase-fase para qual o equipamento é projetado para operação em serviço contínuo. Os valores padronizados das tensões nominais são dados abaixo:

Tabela 9-3 Valores de tensão nominal para instalações abrigadas e desabrigadas (ANSI [26])

Tensão Nominal (kV _{eficaz})												
Para instalações desabrigadas												
8,3	15,5	27	38	48,3	72,5	123	145	170	245	362	550	800
Para instalações abrigadas												
4,8	8,3	15,5	27	38								

9.2. Nível de Isolamento

O isolamento dos seccionadores é constituído por isolamento auto-regenerativo (ar e porcelana), ou seja, mantém suas características dielétricas após uma descarga para terra, entre terminais ou entre polos.

Os níveis de isolamento caracterizam a suportabilidade do equipamento às solicitações dielétricas.

Segundo a ABNT [16] / IEC [25], os níveis de isolamento são dados pela Tabela 9-4, Tabela 9-5 e Tabela 9-6:

Tabela 9-4 Valores de níveis de isolamento para valores de tensões do Range I, Série I (ABNT [16] / IEC [25])

Tensão Nominal	Tensão suportável de curta duração		Tensão suportável de impulso atmosférico	
kV (eficaz)	kV (eficaz)		kV (pico)	
	Valores comuns	Entre a distância de Isolação	Valores comuns	Entre a distância de Isolação
3,6	10	12	20	23
			40	46
7,2	20	23	40	46
			60	70
12	28	32	60	70
			75	85
17,5	38	45	75	85
			95	110
24	50	60	95	110
			125	145
36	70	80	145	165
			170	195
52	95	110	250	290
72,5	140	160	325	375
100	150	175	380	440
	185	210	450	520
123	185	210	450	520
	230	265	550	630
145	230	265	550	630
	275	315	650	750
170	275	315	650	750
	325	375	750	860
245	360	415	850	950
	395	460	950	1 050
	460	530	1 050	1 200

Tabela 9-5 Valores de níveis de isolamento para valores de tensões do Range I, Série II (ABNT [16] / IEC [25])

Tensão Nominal	Tensão suportável de curta duração				Tensão suportável de impulso atmosférico	
kV (eficaz)	kV (eficaz)				kV (pico)	
	Valores comuns		Entre a distância de Isolação		Valores comuns	Entre a distância de Isolação
	Seco	Úmido	Seco	Úmido		
4,76	19	-	21	-	60	70
8,25	26	24	29	27	75	80
	35	30	39	33	95	105
15	35	30	39	33	95	105
	50	45	55	50	110	125
25,8	50	45	55	50	125	140
	70	60	77	66	150	165
38	70	60	77	66	150	165
	95	80	105	88	200	220
48,3	120	100	132	110	250	275
72,5	160	145	176	154	350	385

Tabela 9-6 Valores de níveis de isolamento para tensões do Range II (ABNT [16] / IEC [25])

Tensão Nominal kV (eficaz)	Tensão suportável de curta duração kV (eficaz)		Tensão suportável de impulso de chaveamento kV (pico)			Tensão suportável de impulso atmosférico kV (pico)	
	Fase-terra e entre fases (nota 3)	Entre chaves abertas e/ou distância de isolamento (nota 3)	Fase-terra e entre chaves abertas	Entre fases (notas 3 e 4)	Entre distâncias de isolamento (notas 1, 2 e 3)	Fase-terra e entre fases	Entre chaves abertas e/ou distância de isolamento (notas 2 e 3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
300	380	435	750	1 125	700 (+ 245)	950	950 (+ 170)
			850	1 275		1 050	1 050 (+ 170)

362	450	520	850	1 275	800 (+ 295)	1 050	1 050 (+ 205)
			950	1 425		1 175	1 175 (+ 205)
420	520	610	950	1 425	900 (+ 345)	1 300	1 300 (+ 240)
			1 050	1 575		1 425	1 425 (+ 240)
550	620	800	1 050	1 680	900 (+ 450)	1 425	1 425 (+ 315)
			1 175	1 760		1 550	1 550 (+ 315)
800	830	1 150	1 300	2 210	1 100 (+ 650)	1 800	1 800 (+ 455)
			1 425	2 420		2 100	2 100 (+ 455)

NOTA 1: A coluna (6) é aplicada somente para alguns disjuntores.

NOTA 2: Na coluna (6), valores entre parêntesis são picos de tensão a frequência nominal aplicados no terminal oposto (tensão combinada).

Na coluna (8), os valores entre parêntesis são picos de tensão a frequência nominal aplicados no terminal oposto (tensão combinada).

NOTA 3: Os valores da coluna (2) são aplicados:

a) para testes de tipo, fase-terra

b) para testes de rotina, fase-terra, fase-fase, e entre chaves abertas.

Os Valores das colunas (3), (5), (6) e (8) são aplicados somente para testes de tipo.

NOTA 4: Estes valores são derivados usando um multiplicador de fatores de estado.

Segundo a ANSI [26], os níveis de isolamento são dados pelos valores da Tabela 9-7 e da Tabela 9-8:

Tabela 9-7 Valores de níveis de isolamento para instalações desabrigadas (ANSI [26])

Número da linha	Máxima tensão kV eficaz	Tensão suportável			Tensão influenciada por corona e rádio	
		Descarga atmosférica ¹ kV pico	Tensão a frequência nominal kV eficaz		Tensão de teste ² kV eficaz	Limite de RIV ³ uV @ 1MHz
			Seco 1 minuto	Úmido 10 segundos		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)

1	8,3	95	38	30	-	-
2	15,5	110	50	45	-	-
3	27	150	70	60	-	-
4	38	200	95	80	-	-
5	48,3	250	120	100	-	-
6	72,5	250	120	100	-	-
7		350 ⁴	175	145	-	-
8	123	350	175	145	78	500
9		450	235	190	78	500
10		550 ⁴	280	230	78	500
11	145	350	175	145	92	500
12		450	235	190	92	500
13		550	280	230	92	500
14		650 ⁴	335	275	92	500
15	170	450	235	190	108	500
16		550	280	230	108	500
17		650	335	275	108	500
18		750 ⁴	385	315	108	500
19	245 ⁵	550	280	230	156	500
20		650	335	375	156	500
21		750	385	315	156	500
22		900 ⁴	465	385	156	500
23		1050	545	455	156	500
24	362	1050	545	455	230	500
25		1300 ⁴	610	525	230	500
26	550	1550	710	620	349	500
27		1800 ⁴	810	710	349	500
28	800	2050	940	830	508	750

NOTA 1: Para chaves de tensão maior ou igual a 362 kV.

NOTA 2: As tensões de teste são 110% do valor máximo fase-neutro. Não é necessário retestar as chaves previamente testadas e aprovadas a 105%. Não é necessário retestar chaves testadas com valores de tensão de 121 kV, 169 kV e 242 kV.

NOTA 3: Se um equipamento de qualquer tensão máxima é usado em um circuito com alto valor de tensão, a tensão de influencia limite do rádio e a tensão de teste do equipamento devem ser correspondentes ao valor máximo da tensão do circuito.

NOTA 4: Modernas tecnologias possibilitam o uso de equipamentos com níveis de descargas atmosféricas baixo em algumas aplicações.

NOTA 5: As chaves listadas entre as linhas 19 e 28 são utilizadas para aplicações onde o sistema de aterramento é efetivo.

Tabela 9-8 Valores de níveis de isolamento para instalações desabrigadas. (ANSI [26])

Número da linha	Máxima tensão kV eficaz	Descargas atmosféricas kV (pico)	Impulso de chaveamento com tensão nominal kV (pico)	
			Para terra ¹	Entre contatos abertos ²
	(1)	(2)	(3)	(4)
24	362	1050	750	655 + (295)
25	362	1300	885	825 + (295)
26	550	1550	1050	880 + (450)
27	550	1800	1150	1000 + (450)
28	800	2050	1300	1000 + (650)

NOTA 1: A resistência de isolamento fase-terra está baseada em 97,7 % de probabilidade de suportar as descargas, onde o desvio padrão é de 6%.

NOTA 2: Os valores em parênteses são níveis de tensões de 60 Hz expressas em unidades de KVp (coluna 1 de tensão x 2/3). O somatório deste nível de tensão de polaridade oposta e associado ao impulso de tensão gerado pela abertura dos contatos é igual a 97,7% de ocorrer uma descarga de fase para terra.

9.3. Frequência Nominal

Para ABNT [16] / IEC [25] / ANSI [26], frequência nominal é a frequência de operação do sistema no qual a chave é instalada.

Os valores normalizados são apresentados na Tabela 9-9:

Tabela 9-9 Valores nominais de frequência (ABNT [16] / IEC [25] / ANSI [26])

Frequência Nominal (Hz)			
16 2/3	25	50	60

9.4. Corrente Nominal e Temperatura

9.4.1. Corrente Nominal

Para ABNT [16] / IEC [25], corrente nominal é o valor máximo em eficaz da corrente transportada continuamente sob as condições nominais de uso e operação para qual a

chave foi projetada, sem exceder os valores de temperatura especificados para seus componentes.

Tabela 9-10 Valores nominais de corrente (ABNT [16] / IEC [25])

Valores Nominais de Corrente (A)									
1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8
10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000

Para ANSI [26], corrente nominal é o valor eficaz de corrente que o equipamento deve conduzir continuamente, sem exceder os valores de temperatura especificados para seus componentes.

Tabela 9-11 Valores nominais de corrente (ANSI [26])

Valores Nominais de Corrente (A)									
400	600	1200	1600	2000	3000	4000			

9.4.2. Temperatura

Para ABNT [16] / IEC [25] a temperatura de qualquer parte da chave, sob temperatura ambiente inferior a 40 °C, não pode exceder a temperatura limite especificada na Tabela 9-12:

Tabela 9-12 Limites de temperatura especificados (ABNT [16] / IEC [25])

Partes do Equipamento	Temperatura max (°C)	Limite de elevação de temperatura para um ambiente não excedendo 40 °C
1 – Contatos		
1.1 – Cobre nu ou liga de cobre nu		
- No ar	75	35
- No SF ₆	80	50
- No óleo	90	40
1.2 – Prateados o Niquelados		
- No ar	105	65
- No SF ₆	105	65
- No óleo	90	50
1.3 – Estanhados		
- No ar	90	50
- No SF ₆	90	50
- No óleo	90	50
2 – Conexões Aparafusadas ou equivalente		

2.1 – Cobre nu, liga de cobre nu ou liga de alumínio nu		
- No ar	90	50
- No SF ₆	105	65
- No óleo	100	60
2.2 – Prateados o Niquelados		
- No ar	115	75
- No SF ₆	115	75
- No óleo	100	60
3 – Todos os outros contatos e conexões feitos de metais nus ou revestidos por outros metais	-	-
4 – Terminais para conexão a condutores externos através de parafuso	-	-
4.1 – Nus	90	50
4.2 – Prateados, niquelados ou estanhados	105	65
4.3 – Outros revestimentos	-	-
5 – Óleo para disjuntores a óleo	90	50
6 – Partes metálicas atuando por molas	-	-
7 – Metais usados como isolamento de partes metálicas em contato com isolamento das seguintes classes		
Y – (para metais não impregnados)	90	50
		60
A – (para metais imersos em óleo ou impregnados)	100	
E	120	80
B	130	90
F	155	115
Esmalte –	100	60
- A base de óleo	120	80
- Sintético	180	140
H	-	-
C	-	-
8 – Toda peça metálica ou material isolante em contato com óleo, à exceção dos contatos	100	60

9.4.1. Sobrecarga Contínua Suportável

Para a ABNT [16] / IEC [25] / ANSI [26], é a máxima corrente alternada, em amperes eficaz à frequência nominal sob temperatura inferior a 40 °C, que a chave pode operar, em posição fechada, sem exceder as condições de uso e operação de nenhum de seus componentes.

Esta corrente pode ser estimada com base na elevação de temperatura, utilizando a seguinte fórmula:

$$I_A = I_N \left(\frac{\theta_{m\acute{a}x} - \theta_A}{\theta_r} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\theta_r = \theta_{m\acute{a}x} - 40$$

$\theta_{m\acute{a}x}$ = Temperatura máxima

θ_A = Temperatura ambiente

I_A = Corrente máxima a temperatura ambiente

I_N = Corrente máxima a temperatura ambiente de 40 °C

A relação $\frac{I_A}{I_N}$ é conhecida como fator de carregamento de uma chave seccionadora.

9.5. Corrente Nominal de Curto Circuito

A corrente de nominal de curto circuito é composta pelas componentes simétrica e assimétrica, conforme mostrado abaixo:

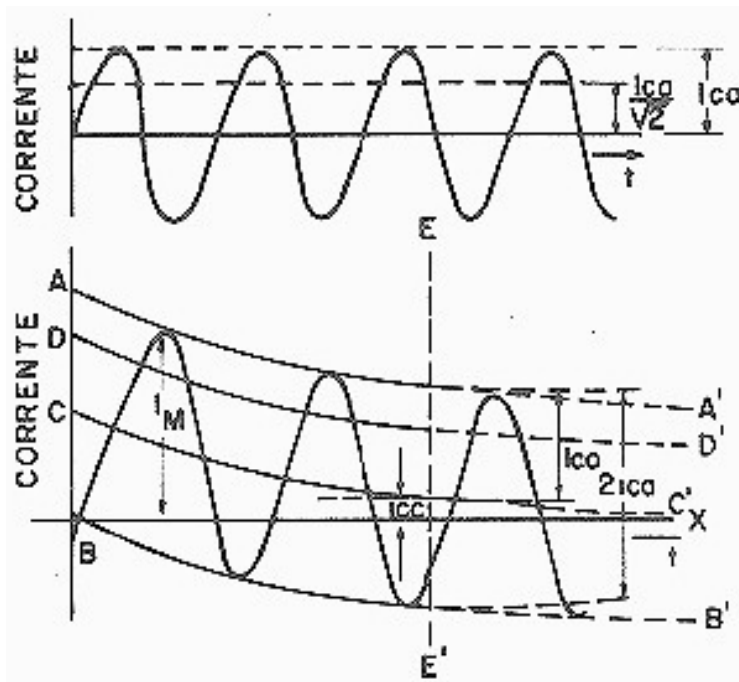


Figura 9-1 Corrente de curto-circuito simétrica e assimétrica [6].

I_{ca} = Valor da componente ca no instante EE'

$\frac{I_{ca}}{\sqrt{2}}$ = Valor eficaz da componente ca no instante EE'

$I_{EE'}$ = Valor eficaz da corrente total (ca + cc) no instante EE'

I_M = Valor da corrente de crista nominal

I_{cc} = Valor da componente cc no instante EE'

A componente de regime alternado (ca) é determinada pela fonte de tensão da rede e pela impedância ($r + jX$).

A componente contínua (cc) é a corrente cujo valor inicial e a taxa de decréscimo são determinadas em função do instante de ocorrência do curto na onda de tensão, do valor da tensão da fonte e da relação X/R da rede.

O valor máximo assimétrico (crista) é cerca de 2,5 a 2,6 vezes o valor eficaz da corrente simétrica.

9.5.1. Corrente Suportável de Curta Duração

Para a ABNT [16] / IEC [25], é o máximo valor eficaz de corrente que a chave pode conduzir, em posição fechada, durante um determinado período de tempo, sem exceder as condições normais de uso e operação.

Tabela 9-13 Valores de correntes suportáveis de curta duração (ABNT [16] / IEC [25])

Valores Nominais de Corrente de Curta Duração (A)									
1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8
10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
10000	12500	16000	20000	25000	31500	40000	50000	63000	80000

NOTA: A norma prevê qualquer valor de corrente que sejam 10^n vezes os valores da primeira linha da Tabela 9-13

Para a ANSI [26], é o valor eficaz da corrente total, ou seja, o valor da corrente de regime permanente mais a componente contínua, que a chave pode conduzir por um pequeno intervalo de tempo.

Tabela 9-14 Valores de correntes suportáveis de curta duração (ANSI [26])

Número da linha	Níveis de corrente nominais em A	Sobre corrente		
		Curta duração kA	Pico	
			60 Hz ¹ kA	50 Hz kA
	(1)	(2)	(3)	(4)
1	600	25	65	63
2	1200	38	99	95
3	1600	44	114	110
4	2000	44	114	110
5	2000	63	164	158
6	3000	63	164	158

7	3000	75	195	188
8	4000	75	195	188

NOTA: Pico de corrente de sobrecarga (kA) $\approx 1,625$ vezes a corrente assimétrica momentânea eficaz (kA). Chaves que foram feitas para suportar 40, 61, 70, 100 e 120 kA eficazes da corrente momentânea assimétrica, são equivalentes as correntes de pico apresentadas acima e, portanto não necessitam ser retestadas.

9.5.2. Valor de Crista Nominal Suportável da Corrente de Curta Duração

Para a ABNT [16] / IEC [25] é o valor de pico associado ao maior *loop* de corrente ocorrido no curto-circuito de curta duração, que a chave pode suportar em posição fechada, sem exceder as condições de uso e operação de nenhum de seus componentes.

Para frequências inferiores ou iguais a 50 Hz o pico de corrente é igual a 2,5 vezes a corrente suportável de curta duração e para frequência de 60 Hz é igual a 2,6 vezes.

9.5.3. Tempo de Duração do Curto-Circuito

Para ABNT [16] / IEC [25] / ANSI [26], o tempo de duração da sobrecarga de curta duração é igual ao intervalo de tempo que a chave consegue suportar, em posição fechada, a corrente de sobrecarga de curta duração.

O padrão utilizado para este tempo é de 1 s, porém se forem necessários tempos inferiores ou superiores a 1 s, os valores recomendados são 0,5 s, 2 s e 3 s.

9.5.4. Desempenho Durante Curto

As chaves devem suportar as correntes nominais de curto circuito, na posição fechada, durante os tempos especificados sem acarretar:

- Danos mecânicos em qualquer uma de suas partes;
- Separação dos contatos;
- Sobre aquecimento, ou seja, sem ultrapassar os limites de temperatura especificados para cada componente, em condições normais de operação, a ponto de danificar seu isolamento.

9.6. Tensão Nominal de Alimentação dos Equipamentos de Fechamento e Abertura e dos Circuitos Auxiliares e de Controle

A tensão nominal de alimentação dos equipamentos de fechamento e abertura e dos circuitos auxiliares e de controle pode ser entendida como a tensão medida nos terminais desses circuitos quando em operação.

O sistema de alimentação deve ter, preferencialmente, a terra como sua referência, para evitar o acúmulo perigoso de tensões estáticas. O local da instalação do ponto de terra deve ser definido de acordo com as boas práticas.

A tensão nominal deve ser selecionada da lista de tensões normatizadas na Tabela 9-15 e na Tabela 9-16:

Tabela 9-15 Tensão contínua nominal de alimentação dos elementos auxiliares (ABNT [16] / IEC [25])

Tensão Nominal (V)
24
48*
60
110* ou 125
220 ou 250

NOTA 1: Os valores marcados com um asterisco são valores sugeridos para equipamentos eletrônicos auxiliares

Tabela 9-16 Tensão alternada nominal de alimentação dos elementos auxiliares (ABNT [16] / IEC [25])

Tensão Nominal para sistemas de 3 fases, 3 fios ou 4 fios (V)	Tensão Nominal para sistemas de 1 fase ou 3 fios (V)	Tensão Nominal para sistemas de 2 fases ou 2 (V)
-	120/240	120
120/208	-	120
220/380	-	220
230/400*	-	230*
240/415	-	240
277/480	-	277
347/600	-	347

NOTA 1: Os valores marcados com um asterisco são valores sugeridos para equipamentos eletrônicos auxiliares

NOTA 2: Os valores menores indicados na primeira e na segunda coluna são referentes à tensão fase-neutro e os maiores valores referentes a tensões entre fases.

9.6.1. Tolerância

A tolerância aceita para as tensões de alimentação contínua e alternada, medidas na entrada dos equipamentos auxiliares durante sua operação, é de 85% a 110% da tensão nominal.

9.6.2. Tensão de *Ripple*

A tensão de *ripple* não pode ser superior a 5% da componente contínua. Esta tensão é medida na entrada dos equipamentos auxiliares durante sua operação.

9.6.3. Queda de Tensão ou Interrupção na Alimentação

Caso ocorra queda de tensão ou interrupção da alimentação, os circuitos auxiliares, se em perfeito estado, devem realizar as seguintes operações:

- Não gerar falsas operações;
- Não gerar falsos alarmes ou falsa sinalização remota;
- Realizar toda a ação pendente até estar completamente finalizada, mesmo que tenha um pequeno atraso.

9.7. Frequência Nominal de Alimentação dos Equipamentos de Fechamento e Abertura e dos Circuitos Auxiliares

Os valores normatizados para a frequência nominal de alimentação dos equipamentos de fechamento e abertura e dos circuitos auxiliares são:

- Contínua;
- 50 Hz;
- 60 Hz.

9.8. Pressão Nominal do Sistema de Acionamento à Gás Comprimido para Isolamento e/ou Operação

Os valores normatizados para a pressão são dados pela Tabela 9-17:

Tabela 9-17 Valores de pressão nominais para sistemas de acionamento (ABNT [16] / IEC [25])

Pressão Nominal (MPa)					
0,5	1	1,6	2	3	4

Qualquer valor diferente dos mostrados acima deverá ser informado pelo fabricante.

9.9. Valores Nominais para as Zonas de Contato

O fabricante deve fornecer os valores nominais da zona de contato (indicado por x, y e z). Os valores mostrados na Tabela 9-18 e na Tabela 9-19 são somente para referencia. Estes valores indicam somente os deslocamentos tolerados para os contatos fixos.

É conveniente que ao escolher determinada chave, seja seccionadora ou de terra, o utilizador se certifique que os contatos fixos estão dentro desses limites.

Tabela 9-18 Zonas de contato recomendadas para contos fixos suportados por condutores flexíveis (ABNT [16] / IEC [25])

Tensão Nominal (kV)	x (mm)	y (mm)	z ¹ (mm)	z ² (mm)
---------------------	--------	--------	---------------------	---------------------

72,5 - 100	100	300	200	300
123 - 145	100	350	200	300
170	200	400	200	300
245	200	500	250	450
300	200	500	250	450
362	200	500	300	450
420	200	500	300	500
550	200	600	400	500

x=Amplitude total do movimento longitudinal do suporte do condutor (temperatura).

y=Deflexão horizontal total (perpendicular ao suporte do condutor) (Vento).

z = Deflexão vertical (temperatura e gelo).

NOTA: z¹ são valores para vãos pequenos, z² são valores para vãos longos de condutores flexíveis para montagem nos contatos fixos.

Tabela 9-19 Zonas de contato recomendadas para contatos fixos suportados por condutores rígidos (ABNT [16] / IEC [25])

Tensão Nominal (kV)	x (mm)	y (mm)	z (mm)
72,5 - 100 - 123 - 145	100	100	100
170 - 245 - 300 - 362 - 420	150	150	150
550	175	175	175
800	200	200	200

x=Amplitude total do movimento longitudinal do suporte do condutor (temperatura).

y=Deflexão horizontal total (perpendicular ao suporte do condutor) (Vento).

z = Deflexão vertical (gelo).

9.10. Esforços Mecânicos Nominais nos Terminais

As chaves devem ser aptas a abrir e fechar enquanto estão submetidas, nos seus terminais, aos esforços mecânicos nominais.

Os esforços mecânicos que as chaves devem suportar atuando sobre o próprio seccionador, nos condutores e nos barramentos rígidos (tubos) e flexíveis (cabos) ligados aos terminais do seccionador são:

- Ação do vento;
- Força eletromagnética das correntes de curto-circuito.

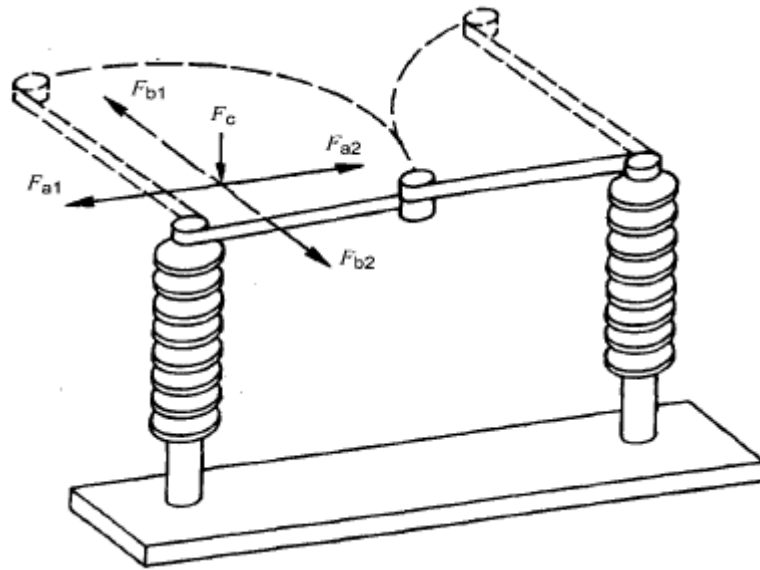


Figura 9-2 Exemplo da aplicação dos esforços mecânicos nos terminais de carga de uma chave seccionadora de duas colunas [6]

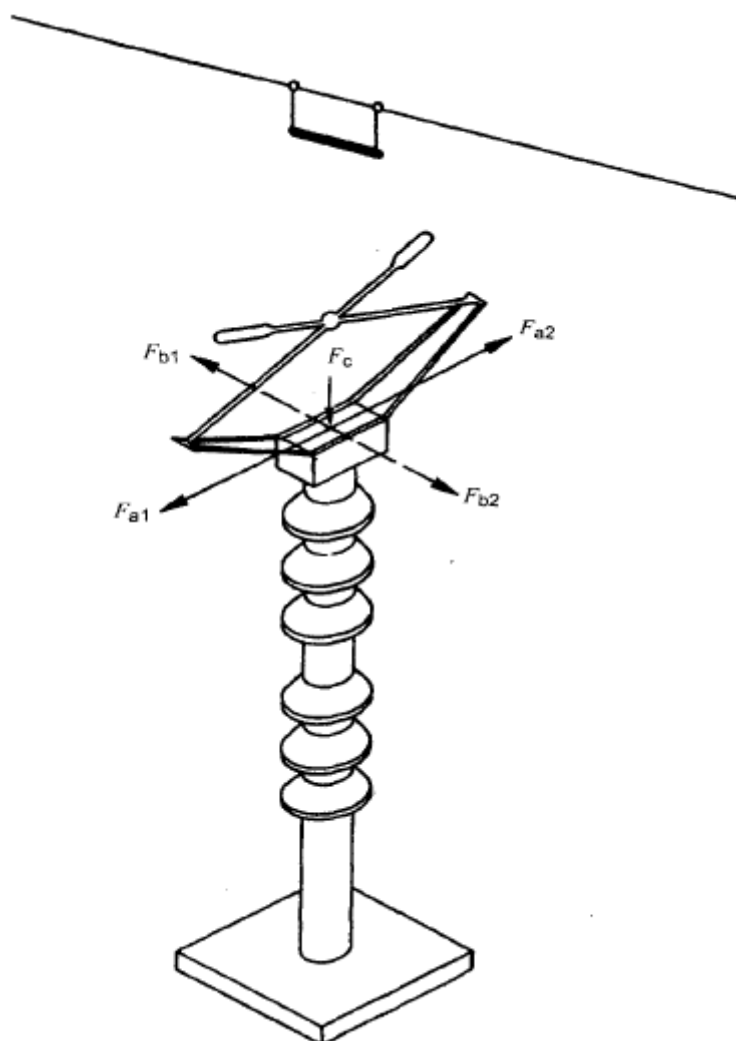


Figura 9-3 Exemplo da aplicação dos esforços mecânicos nos terminais de carga de uma chave seccionadora pantográfica [6]

Tabela 9-20 Carga estática recomendável para os terminais de carga (ABNT [16] / IEC [25])

Tensão Nominal (kV)	Corrente Nominal (A)	Seccionadores de duas ou três colunas		Seccionadores com apoio central		Força Vertical F_c^a
		Carga direta F_a^1 e F_a^2	Carga cruzada F_b^1 e F_b^2	Carga direta F_a^1 e F_a^2	Carga cruzada F_b^1 e F_b^2	
		Na Figura 9-2		Na Figura 9-3		
		N	N	N	N	
52 - 72,5	800 - 1250	400	130	800	200	500
100 - 123 - 145	1250	500	170	800	200	1000
170	1250	600	200	1000	300	
	2000	800	250	1250	400	
245	800 - 1250	800	270	1250	400	1250
	2000	1000	330	1600	500	

300 - 362	2000	1000	400	1600	500	1500
	3150	1500	500	1800	600	
420	2000	1600	530	2000	800	1500
	4000	2000	660	4000	1 600	
550	2000	1600	530	2000	800	1500
	4000	2000	660	4000	1 600	
800	2000	1600	530	2000	800	1500
	4000	2000	660	4000	1 600	

NOTA: F_c^a simula a transferência de força causada pelo peso da conexão dos condutores. Com condutores flexíveis, o peso é incluído na força longitudinal ou perpendicular.

Para a ANSI [26], as cargas são dadas conforme a Figura 9-4.

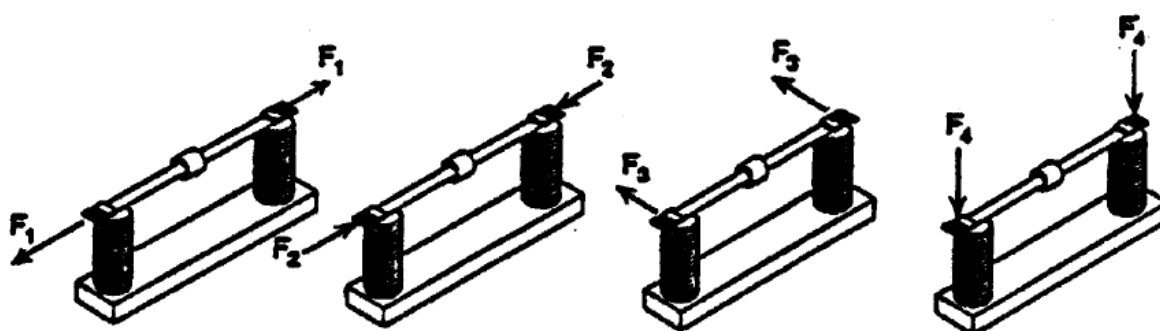


Figura 9-4 Terminais de cargas com suas respectivas forças de atuação [26]

Tabela 9-21 Carga estática recomendável para os terminais de carga (ANSI [26])

Número da linha	Máxima tensão kV	Níveis de corrente	F1 e F2		F3		F4	
			N	(lbs)	N	(lbs)	N	(lbs)
	(1)	(2)	(3)		(4)		(5)	
1	4.8-72.5	200 - 1200	400	(90)	130	(30)	130	(30)
2	"	> 2000	400	(90)	130	(30)	130	(30)
3	123 - 170	600 - 1600	530	(120)	180	(40)	490	(110)
4	"	> 2000	530	(120)	180	(40)	1110	(250)
5	245 - 362	1200 - 1600	800	(180)	270	(60)	1670	(375)
6	"	> 2000	1020	(230)	330	(75)	3040	(685)
7	≥ 550	All	2000	(450)	670	(150)	3330	(750)

NOTA 1: Os terminais de carga F1, F2, F3 e F4 incorporam considerações para os pesos típicos dos conectores conectados nos barramentos com cargas de vento e gelo, cargas de expansão e forças de momento limitadas. É recomendado que o fabricante seja consultado se as forças ultrapassarem os valores contidos nessa tabela. Essas forças mais elevadas podem ser devido aos longos barramentos com conectores rígidos ligados as chaves, forças de curto circuito extra-altas, barramentos com vãos de outros materiais que não sejam alumínio e outras forças não consideradas.

NOTA 2: Essas cargas são derivadas dos requerimentos de operação mecânica da norma ANSI C37.34 e não são necessariamente representam a carga mecânica limite dos terminais. Consulte o fabricante quando esses valores são necessários.

NOTA 3: Para 245 kV e superiores, as forças F4 podem ser reduzidas em 40% para chaves com dobradiças ou terminais pivotantes.

9.11. Capacidade de Suportar a Corrente de Transferência de Barramento para Chaves Seccionadoras

Algumas chaves têm a capacidade de transferir correntes de carga de um barramento do sistema para outro. Para este tipo de transferência, a chave deve ter a capacidade de interromper e estabelecer essas correntes de carga, dependendo da magnitude da carga transferida e do tamanho da curva entre o local de acoplamento do barramento e a chave para ser operada.

O valor da corrente de transferência de barramento para as chaves com câmara de extinção a ar e a gás deve ser de 80% do valor da corrente nominal. O que normalmente não excede 1.600 A, independente da corrente nominal da chave.

Estes valores são aplicados para chaves iguais ou superiores a 52 kV.

9.12. Capacidade de Suportar a Corrente Indutiva de Transferência para Chaves de Terra

Algumas chaves de terra têm a capacidade de aterrar linhas de transmissão. Nos casos onde existem várias configurações de linhas de transmissão próximas umas das outras, correntes podem circular na desenergização e nas linhas aterradas, como resultado dos acoplamentos capacitivos e indutivos com as linhas adjacentes energizadas. As chaves de terra estão aptas a aterrar estas linhas se forem capazes de assegurar as seguintes condições de serviço:

- Estabelecer e interromper uma corrente capacitiva quando a conexão para terra estiver aberta em um dos terminais e a chave de terra estiver fechando no outro terminal;
- Estabelecer e interromper uma corrente indutiva quando a conexão para terra estiver aberta em um dos terminais e a chave de terra estiver fechando no outro terminal;
- Suportar continuamente as correntes capacitivas e indutivas.

O valor das correntes capacitivas e indutivas é apresentado na Tabela 9-22:

Tabela 9-22 Valores normalizados para as correntes e tensões de indução para chaves de terra (ABNT [16] / IEC [25])

Tensão Nominal (kV)	Acoplamento Eletromagnético				Acoplamento Eletrostático			
	Corrente Indutiva A (eficaz)		Tensão Indutiva kV (eficaz)		Rated induced voltage kV (eficaz)		Tensão Indutiva kV (eficaz)	
	Classes		Classes		Classes		Classes	
	A	B	A	B	A	B	A	B
52	50	80	0,5	2	0,4	2	3	6
72,5	50	80	0,5	2	0,4	2	3	6
100	50	80	0,5	2	0,4	2	3	6
123	50	80	0,5	2	0,4	2	3	6
145	50	80	1	2	0,4	2	3	6
170	50	80	1	2	0,4	3	3	9
245	80	80	1,4	2	1,25	3	5	12
300	80	160	1,4	10	1,25	10	5	15
362	80	160	2	10	1,25	18	5	17
420	80	160	2	10	1,25	18	5	20
550	80	160	2	20	2	25	8	25
800	80	160	2	20	3	25	12	32

NOTA 1: Chaves de terra Classe A: baixo acoplamento ou linhas paralelas relativamente curtas. Chaves de terra Classe B alto acoplamento ou linhas paralelas relativamente longas.

NOTA 2: Em algumas situações a corrente e a tensão indutiva pode ser maior do que os valores apresentados. Para estas situações, a capacidade de suportar essa corrente e tensão deve ser de comum acordo entre o fabricante e o utilizador.

NOTA 3: As tensões de indução correspondem a valores fase-terra para 1 (uma) fase como para 3 (três) fases.

Estes valores são aplicados para chaves iguais ou superiores a 52 kV.

10. MANUAL PARA SELEÇÃO DE CHAVES

10.1. Introdução

Para a seleção das chaves as seguintes condições e requerimentos de instalação deverão ser considerados:

- Corrente de carga normal e condições de sobrecarga;
- Existência de condições de falta;
- Terminais de carga estáticos e dinâmicos dependendo do design da subestação;
- Uso de condutores rígidos ou flexíveis para conexão nas chaves seccionadoras ou de terra;
- Condições do ambiente (clima, poluição etc.);
- Altitude do local da subestação;
- Necessidade de desempenho operacional (mecânica resistente);
- Requerimentos de chaveamento (corrente de chaveamento entre barramentos pelas chaves seccionadoras, corrente indutiva de chaveamento pelas chaves de terra, capacidade das chaves de terra de suportarem curto-circuito).

Quando se seleciona uma chave seccionadora ou uma chave de terra, deve-se levar em consideração a sua utilização em futuros empreendimentos. Caso não seja levada em consideração essa hipótese, a chave poderá ser trocada em um curto espaço de tempo, acarretando maiores gastos.

10.2. Seleção dos Valores Nominais para Condições Normais de Serviço pela ABNT

Todas as características e classes de uma chave seccionadora ou de uma chave de terra são dadas no capítulo 6, portanto deverão ser aplicadas, incluindo seus sub-tópicos.

10.2.1. Seleção da Tensão Nominal e da Classe de Isolamento

A tensão nominal de uma chave seccionadora ou de uma chave de terra pode ser escolhida de acordo com a tensão nominal de operação do sistema no qual a chave será instalada. Seu valor pode ser igual ou superior ao valor da tensão nominal do sistema.

Os valores das tensões nominais são dados na Tabela 9-1, na Tabela 9-2 e na Tabela 9-3.

Os valores das classes de isolamento são dados na Tabela 9-4, na Tabela 9-5 e na Tabela 9-6.

10.2.2. Seleção da Corrente Nominal

A corrente nominal de uma chave seccionadora ou de uma chave de terra pode ser escolhida de acordo com a corrente nominal de operação do sistema no qual a chave será instalada. Seu valor pode ser igual ou superior ao valor da corrente nominal do sistema.

Os valores das correntes nominais são dados na Tabela 9-10.

10.2.3. Seleção das Zonas de Contato

Quando se seleciona as zonas de contato, o usuário deverá verificar se as zonas de contato especificadas pelo fabricante não são excedidas, em caso de aplicações específicas, seguindo as seguintes restrições, se aplicáveis:

- A deflexão longitudinal resultante da ação do vento sob outros componentes conectados que são perpendiculares ao barramento de operação e para a movimentação do equipamento;
- A deflexão perpendicular resultante da ação do vento sob outros componentes conectados que são perpendiculares ao barramento de operação e para a movimentação do equipamento;
- A deflexão vertical imposta por outras forças verticais referentes ao barramento e das cargas impostas pela operação do equipamento conectado no barramento.

10.2.4. Seleção do Terminal Mecânico de Carga

Para a seleção do terminal mecânico de carga deverão ser consideradas as piores condições possíveis.

10.2.5. Seleção da Capacidade de Suportar a Corrente de Transferência de Barramento para Secionadores com Tensão Igual ou Superior a 52 kV

Chaves seccionadoras são, por definição, somente capazes de abrir e fechar os circuitos quando as correntes a serem rompidas são insignificantes ou quando nenhuma mudança significativa de tensão ocorre ao redor dos terminais de cada polo. Em algumas aplicações as seccionadoras são utilizadas para transferir carga de um barramento para outro.

Se essa capacidade de transferir corrente entre barramentos é requerida, deve-se atentar para os valores de tensão e corrente de interrupção.

10.2.6. Seleção da Capacidade de Suportar a Corrente Indutiva de Transferência para Chaves de Terra com Tensão Igual ou Superior a 52 kV

A definição de chave de terra não inclui a capacidade de transferência de corrente. Uma chave de terra padrão é capaz de abrir e fechar os circuitos para terra de uma seção isolada da subestação ou quando as correntes a serem rompidas são insignificantes ou quando nenhuma mudança significativa de tensão ocorre ao redor dos terminais de cada polo. Essas correntes insignificantes de acordo com a definição não podem ultrapassar 0,5 A.

Em configurações de torres de alta tensão, em alguns casos, mais de um sistema é montado na mesma linha da torre. Nestes casos, correntes de indução podem ser rompidas quando uma das linhas for aterrada ou desaterrada, enquanto as outras linhas do sistema estão conduzindo corrente.

Se essa capacidade de transferir corrente entre o barramento e a terra é requerida, deve-se atentar para os valores de tensão e corrente de interrupção.

10.2.7. Condições do Ambiente Local

Se o local de instalação possuir algumas particularidades como: poluição, calor excessivo, salinidade, gelo, alta pressão etc., o design e a matéria prima dos materiais devem ser levados em consideração.

10.2.8. Condições Sísmicas

Caso o local de instalação seja propício a abalos sísmicos, a norma deverá ser consultada para verificar as características estruturais que deverão ser adotadas.

10.2.9. Uso em Altas Altitudes

Caso o local de instalação é de altitude elevada, a norma deverá ser consultada para verificar as características construtivas e estruturais que deverão ser adotadas.

10.2.10. Seleção da Corrente de Pico e da Corrente de Curto-Circuito para Chaves

Para a seleção das chaves as correntes de pico e de curto-circuito deverão ser levadas em consideração e seus valores estão baseados nos ensaios de tipo que os

fabricantes devem realizar para estabelecer os limites suportados por elas. Tais valores deverão ser maiores que os valores pré-estabelecidos para o sistema que a chave será instalada.

10.2.1. Seleção da Corrente de Pico e da Corrente de Curto-Circuito para Chaves de Terra

Para a seleção das chaves de terra as correntes de pico e de curto-circuito deverão ser levadas em consideração e seus valores estão baseados nos ensaios de tipo que os fabricantes devem realizar para estabelecer os limites suportados por elas. Tais valores deverão ser maiores que os valores pré-estabelecidos para o sistema que a chave será instalada.

10.3. Seleção pela Norma ANSI

Para a seleção das chaves pela norma ANSI [26], deve-se utilizar a Tabela A2-1 do Anexo 3.

Os itens necessários para sua especificação são:

10.3.1. Tensão Nominal

Os valores de tensão nominais são apresentados na Tabela 9-3.

10.3.2. Corrente Nominal

Os valores nominais de corrente são apresentados na Tabela 9-11.

10.3.3. Corrente de 3 segundos

A corrente de 3 segundos é igual à corrente suportável de curta-duração (Tabela 9-14) dividida por 1,6.

11. CONCLUSÃO

Conforme descrito no capítulo 1, os objetivos deste trabalho são fornecer aos futuros engenheiros elétricos um material atualizado, único e conciso, dando-lhes condições de entrarem no mercado de trabalho com um maior conhecimento sobre as chaves e a capacidade de selecioná-las.

Baseado nesses objetivos, tendo em vista que, este trabalho foi feito com base na análise de uma bibliografia e nas boas práticas de mercado. O presente estudo identificou, descreveu e detalhou os diversos tipos de chaves, apresentou conhecimentos suficientes para a sua especificação e forneceu imagens e tabelas de forma que facilitasse a didática e a compreensão do tema abordado.

Este trabalho procurou organizar o material encontrado em livros, catálogos, sites dos fabricantes, citações, artigos e normas em um único material, permitindo que essas informações, antes dispersas em diversos lugares, pudessem ser reunidas em um único exemplar.

Para o desenvolvimento deste trabalho diversos materiais foram consultados, muitas dificuldades foram encontradas, principalmente em assuntos específicos como, os circuitos de controle das chaves.

Estes circuitos em especial, foram descritos com base nas informações de um único fabricante, gerando a possibilidade de ocorrerem modificações, caso outro fabricante seja escolhido.

Apesar do material ser conciso em sua proposta, a constante evolução desses equipamentos podem fazer com que as informações contidas nesse trabalho se tornem obsoletas com extrema rapidez. Por isso, sugere-se, ao escolher uma chave, que as informações do fabricante sejam sempre consultadas.

Portanto, assim como foi feito por mim, outras pessoas deverão fazer o mesmo no futuro, atualizando esse material, de forma a incorporar novas tecnologias e conhecimentos para proporcionar aos estudantes uma melhoria constante no material por eles utilizado e ajudá-los a enfrentar o mercado de trabalho ou a direcionar seus futuros estudos.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OLIVEIRA, Lorena Banhos de. *Consolidação de Material Didático para a Disciplina de Engenharia do Trabalho Gestão da Produção – 2008*
- [2] CARVALHO, Antônio Carlos Cavalcanti de; PUENTE, Antonio Perez; FUCHS, Artur; PORTELA, Carlos Medeiros et al. *Disjuntores e Chaves: Aplicação em Sistemas de Potência. UFF – 1995*
- [3] D'AJUZ, Ary; RESENDE, Fábio M.; CARVALHO, Francisco Manuel Salgado; NUNES, Iraporan G. et al. *Equipamentos Elétricos; Especificação e Aplicação em Subestações de Alta Tensão. FURNAS/UFF – 1985*
- [5] GIL, Antônio Carlos. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa. Ed. Atlas – 1991*
- [6] NEMÉSIO SOUSA, Jorge. *Material Didático da Disciplina de Equipamentos Elétricos – Chaves. UFRJ - 2009*
- [7] CAIRES, Richard Roberto. *Equipamentos de Alta Tensão. UNISAL – 2006*
- [8] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos – Elaboração: NBR ISO 9001. Rio de Janeiro, 2000.*
- [9] MAMEDE FILHO, João. *Manual de Equipamentos Elétricos. LTC – 2005*
- [10] IEC - INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *International Electrotechnical Vocabulary IEC 60050* em <http://www.electropedia.org>. Acessado em fevereiro de 2012
- [11] IEC. *Common Specifications for High-Voltage Switchgear and Controlgear Standards IEC 60694:2000* em <http://pt.scribd.com/doc/50571109/iec-60694-ed2-1b>. Acessado em fevereiro de 2012
- [12] SANTOS, Antônio Raimundo dos. *Metodologia Científica: a Construção do Conhecimento. DP&A 102ditor – 1999*
- [13] IEEE. *IEEE Standard for Interrupter Switches for Alternating Current, Rated Above 1000 Volts IEEE Std 1247-1998* em <http://pt.scribd.com/doc/66480147/ieee-std-1247-1998>. Acessado em fevereiro de 2012
- [14] SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muskat. *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. Disponível em <http://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia%20da%20Pesquisa%203a%20edicao.pdf>. Acessado em fevereiro de 2012.
- [15] IEEE. *IEEE Standard Requirements for High-Voltage Switches IEEE Std C37.30-1997*. Disponível em Acessado em fevereiro de 2012.
- [16] ABNT. *Equipamentos de Alta-Tensão Parte 102: Seccionadores e chaves de aterramento ABNT NBR IEC 62271-102:2006*
- [17] ABNT. *Especificações Comuns para Normas de Equipamentos de Manobra de Alta-Tensão e Mecanismos de Comando ABNT NBR IEC 60694:2006*

- [18] ABNT. *Seccionador, chaves de terra e aterramento rápido* ABNT NBR 6935:1985
- [19] ABNT. *Seccionadores – Características Técnicas e Dimensionais* ABNT NBR 7571:2011
- [20] ABB. *Disconnecting Circuit Breakers*. Disponível em <http://www.abb.com/product/pt/9AAF401700.aspx?country=BR>. Acessado em fevereiro de 2012.
- [21] SOUTHERN STATES. *LLS Load and Line Switcher Family*. Disponível em http://www.southernstatesllc.com/product_categories/31/products/71-Load-and-Line-Switcher. Acessado em fevereiro de 2012.
- [22] S&C ELECTRIC COMPANY. *Switching Equipment – Outdoor Transmission and Substation*. Disponível em <http://www.sandc.com/products/switching-outdoor-transmission/default.asp>. Acessado em fevereiro de 2012.
- [23] LAWSON, André P. Sampaio. *Consolidação de Material Didático para a Disciplina de Equipamentos Elétricos – Disjuntores*. UFRJ – 2012.
- [24] IEC. *Combined Function Disconnecting Circuit-Breakers IEC 62271-108:2005*.
- [25] IEC. *High-Voltage Switchgear and Controlgear – Part 102: High-Voltage Alternating Current Disconnectors and Earthing Switches IEC 62271-108:2005*.
- [26] ANSI - AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. *For High Voltage Switches, Bus Supports, and Accessories – Schedules of Preferred Ratings, Construction Guidelines and Specifications ANSI [26] C37.32-2002*.
- [27] SIEMENS. *Disconnecting and Earth Switches* disponível em **Erro! A referência de hiperlink não é válida..** Acessado em fevereiro de 2012.
- [28] ALSTOM. *Disconnectors* disponível em <http://www.alstom.com/grid/products-and-services/high-voltage-power-products/disconnectors/>. Acessado em fevereiro de 2012.
- [29] HAPAM. *HAPAM Disconnectors* disponível em <http://epci.com.au/products/hapam-disconnectors.html>. Acessado em fevereiro de 2012.
- [30] AREVA. *Subestação Araraquara CTEEP – Secionador Esquema Elétrico. Desenho Nº 10.22004-01-10-700*. 24/03/2010
- [31] SYEC. *Disconnecter* disponível em <http://www.syec.com.cn/en/plist.php?fid=21>. Acessado em fevereiro de 2012.
- [32] TOSHIBA. *Produtos Secionadores* disponível em <http://www.toshiba-tstb.com.br/produtos/categoria.aspx?id=37&l=pt>. Acessado em fevereiro de 2012.
- [33] DELMAR. *HUBBELL PRODUTOS* disponível em <http://www.delmar.com.br/lt.asp>. Acessado em fevereiro de 2012.
- [34] COELME. *Products Disconnectors* disponível em <http://www.coelme-egic.com/-Disconnectors->. Acessado em fevereiro de 2012.

[35] PASCOR ATLANTIC. *Product Lines* disponível em **Erro! A referência de hiperlink não é válida..** Acessado em fevereiro de 2012.

[36] DIRECT INDUSTRY. *Disconnect Switch* disponível em **Erro! A referência de hiperlink não é válida..** Acessado em fevereiro de 2012.

[37] IVEP A.S. *Outdoor Traction Disconnectors* disponível em <http://www.ivep.cz/en/production-range/15-kv-3-kv-35-kv-outdoor-traction-disconnectors>. Acessado em fevereiro de 2012.

ANEXOS

ANEXO 1 – ENSAIOS

1. INTRODUÇÃO

Os tipos de ensaios que serão apresentados têm o propósito de provar as características das chaves, seus mecanismos de operação e seus equipamentos auxiliares.

Para facilitar a compreensão dos ensaios que serão apresentados, segue abaixo o esquema que será adotado para designar os terminais e as conexões realizadas:

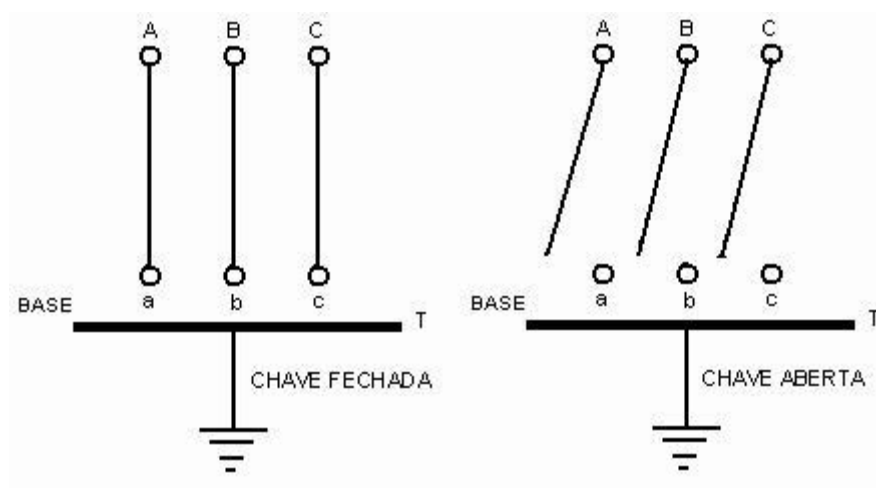


Figura A1-1 Esquemas de contato das chaves [6]

- Polos da chave: Aa, Bb e Cc
- Terminais da chave: A, B, C, a, b e c
- Base da chave: T

2. ENSAIOS DE TIPO

2.1. Ensaio de Tensão Aplicada à Frequência Industrial

A norma ANSI [26] especifica ensaios a seco e sob chuva para todos os níveis de tensão nominal. A ABNT [16] e a IEC [25] recomendam os ensaios a seco e sob chuva somente para níveis de tensão até 242 kV e somente a seco para chaves $V_n > 300$ kV, pois, neste caso o desempenho da chave é verificado no ensaio de impulso de manobra.

Os tempos aplicados no ensaio são:

- ABNT [16] / IEC [25]: 1 minuto (seco e sob chuva)
- ANSI [26]: 1 minuto (a seco) e 10 segundos (sob chuva)

Pela norma ABNT [16] / IEC [25], para as chaves de tensão nominal menores que 300 kV, os ensaios com a chave aberta (#4, #5 e #6) são realizados com duas fontes de corrente independentes, com as cristas de semiciclos de polaridade oposta coincidentes, de forma a se obter a tensão entre terminais especificadas na Tabela 9-6. Sendo que, as tensões aplicadas entre os terminais podem exceder 2/3 da tensão aplicada para a terra.

O fabricante poderá realizar estes ensaios com apenas uma fonte, caso seja consentimento de todos, aplicando-se uma tensão de igual valor à tensão especificada entre os terminais (Tabela 9-4, coluna 3), a cada terminal da chave, estando aterrado o terminal oposto e aumentando-se o isolamento de fase-terra, de forma a evitar descargas para terra.

A IEC [25] considera este procedimento mais severo. Para chaves de tensão nominal superiores a 300 kV, o ensaio para a chave aberta, deve ser realizado com duas fontes de corrente, com polaridades opostas coincidentes, de forma a se obter a tensão entre os terminais iguais a 2,5 vezes a tensão nominal de fase-terra $\frac{V_n}{\sqrt{3}}$ (Tabela 9-4, coluna 3).

Tabela A1-1 Esquemas de conexões [6]

Norma	Ensaio	Chave	Terminais energizados	Conexões aterradas
IEC [25] / ABNT [16]	#1	Fechada	Aa	BC bc T
	#2	Fechada	Bb	AC ac T
	#3	Fechada	Cc	AB ab T

	#4	Aberta	A e a	BC bc T
	#5	Aberta	B e b	AC ac T
	#6	Aberta	C e c	AB ab T
ANSI [26]	#7	Fechada	Aa Bb Cc	T
	#8	Aberta	ABC	abc T
	#9	Aberta	abc	ABC T
	#10	Fechada	Bb	Aa Cc T
	#11	Fechada	Aa ou Bb ou Cc	T
	#12	Aberta	A ou B ou C	aT ou bT ou cT
	#13	Aberta	a ou b ou c	AT ou BT ou CT
	#14	Aberta	A	aBbCc (T)
	#15	Aberta	B	AabCc (T)
	#16	Aberta	C	AaBbc (T)
	#17	Aberta	a	aBbCc (T)
	#18	Aberta	b	AabCc (T)
	#19	Aberta	c	AaBbc (T)

NOTA 1: Os ensaios #3 e #6 podem ser omitidos se os polos externos da chave forem submetidos em relação ao polo central base.

- **Procedimento de ensaio ANSI [26]**

Com a chave aberta e fechada (outro terminal aterrado) aplica-se 3 impulsos consecutivos com as tensões especificadas (Tabela 9-7 e Tabela 9-8). Se não ocorrer nenhuma descarga a chave passa no teste; se a chave sofre apenas uma descarga na primeira série de 3 impulsos, aplica-se nova série de 3 impulsos, caso não ocorra nenhuma descarga nesta nova série ela passará no teste. E se a chave sofrer 2 descargas na primeira série de impulsos ela é reprovada.

Os ensaios #13 a #16 da Tabela A1-1 são realizados aplicando-se a cada terminal da chave tensão 10% superior à tensão nominal suportável de impulso atmosférico fase-terra.

2.2. Ensaio de Tensão Suportável de Impulso Atmosférico

Este ensaio é realizado a seco para impulsos de polaridade positiva e negativa. Geralmente as chaves apresentam menor suportabilidade para os impulsos de polaridade positiva.

Os ensaios são realizados com a chave na posição fechada (isolamento fase-terra) e aberta (isolamento entre terminais).

- **Procedimentos de ensaio pelas normas ABNT [16] e IEC [25]**

Com a chave fechada e a lâmina de terra aberta aplica-se 15 impulsos de (1.2 x 50 μ s) consecutivos a cada polo da chave com valor de crista igual à tensão suportável nominal de impulso atmosférico para terra (Tabela 9-4, Tabela 9-5 e Tabela 9-6). A chave passará no ensaio se tiver, no máximo, 10% de probabilidade de descarga para uma série de 15 impulsos.

Com a chave aberta (as lâminas de terra e principal abertas) aplica-se 15 impulsos de (1.2 x 50 μ s) consecutivos a cada polo da chave com valor de crista igual à tensão suportável nominal de impulso atmosférico para os terminais.

O terminal oposto deve ser aterrado (para chaves com tensão nominal menor que 242 kV) ou energizado com tensão igual a 70% da tensão nominal eficaz fase-terra (Tabela 9-4, Tabela 9-5 e Tabela 9-6) a frequência industrial para chaves com tensão nominal maior que 300 kV).

É possível aumentar o isolamento da chave conforme o aumento do número de isoladores da coluna ou aumento da distância entre solo e a chave, a fim de se evitar descargas para terra. A chave passará no ensaio se o número de descargas entre os terminais e os polos não for superior a 2.

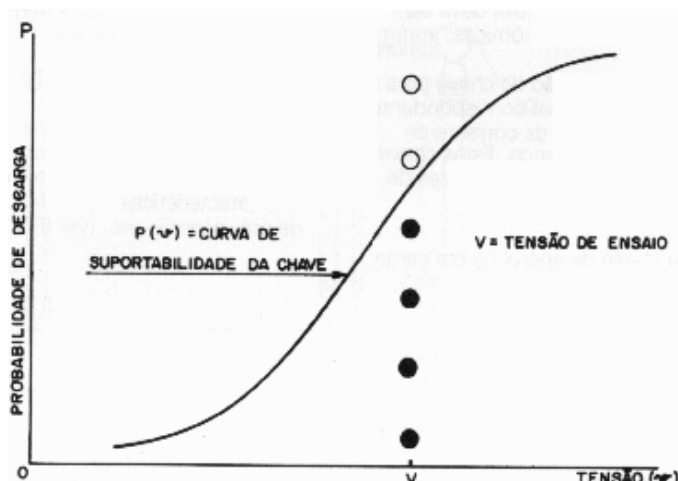


Figura A1-2 Curva de ensaio de tensão de impulso atmosférico [6]

2.3. Ensaio de Tensão Suportável de Impulso de Manobra

Este ensaio é realizado a seco e/ou sob chuva para impulso de polaridade negativa ou positiva. O ensaio é realizado com a chave fechada e aberta. Em geral, o isolamento fase-terra apresenta menor suportabilidade para a polaridade positiva nos ensaios a seco e para polaridade negativa nos ensaios sob chuva elevada.

- **Procedimento de ensaio ABNT [16] e IEC [25]**

Com a chave fechada o procedimento é igual ao procedimento para impulso atmosférico (item 2.2), com aplicação de 15 impulsos (250 x 2500 μ s), consecutivos, com valor de crista igual à tensão nominal suportável de impulso de manobra para terra (Tabela 9-4).

Com a chave aberta o procedimento é igual ao procedimento para impulso atmosférico (item 2.2), com aplicação de 15 impulsos (250 x 2500 μ s), consecutivos, com valor de crista igual à tensão nominal suportável de impulso de manobra para terra (Tabela 9-4).

As chaves classe A têm o terminal oposto ao de indicação de aplicação do impulso aterrado e as chaves de classe B têm o terminal oposto energizado com a tensão nominal de frequência industrial.

No caso das chaves de classe A é permitido melhorar o isolamento fase-terra para evitar descargas para a terra, já que o impulso aplicado pode ser maior que o nível de isolamento fase-terra (em alguns casos).

- **Procedimento de ensaio ANSI [26]**

Com a chave fechada aplicar 20 (vinte) impulsos de mesmo valor para quatro níveis de tensão. O nível de tensão inferior deve apresentar 3 a 5 descargas, já o nível de tensão

superior deve apresentar 15 a 17 descargas, os outros demais níveis devem estar entre os níveis superior e inferior.

Com a chave aberta repetir o procedimento para chave fechada.

A partir dos resultados desse ensaio, calcula-se a tensão $V_{2,3}$ nos ensaios da chave aberta e fechada. O seccionador é considerado aprovado no ensaio se a tensão $V_{2,3}$ calculada for igual ou superior ao nível de isolamento de impulso de manobra especificado para a chave.

Com a chave aberta, aplicar 40 minutos de tensão positiva e negativa entre o terminal e a terra (com o outro terminal aterrado) com um valor que acarrete de 80% a 100% de probabilidade de descarga para terra. O seccionador é considerado aprovado no ensaio se durante a execução destes impulsos menos de 4 deles ocasionarem descargas para terra e somente uma descarga para o terminal oposto .

Notas:

1. Os ensaios dielétricos de impulso atmosférico e de impulso de manobra em chaves abertas não estabelecem coordenação entre o isolamento fase-terra em relação ao isolamento entre os terminais, de maneira assegurar que as descargas seguirão para terra e não para os terminais. A coordenação dos isolamentos é obtida com a utilização de para-raios ou de 'chifres'.

2. É reconhecido que o aumento do isolamento fase-terra em alguns ensaios dielétricos de seccionadores altera a suportabilidade do isolamento fase-terra e entre terminais. Os resultados dos ensaios nesta condição evidentemente não corresponderão ao desempenho do seccionador em condições reais.

2.4. Ensaio de Nível de Rádio Interferência (RVI) e Corona Visual

O ensaio de RVI consiste na aplicação de uma tensão 10% maior que a tensão fase-terra nominal ($1,1 \cdot V_n \cdot \sqrt{3}$) e o nível de rádio interferência não deve exceder 2.500 μV , pela ABNT [16] / IEC [25].

O ensaio de corona visual não é normalizado. É usual aplicar uma tensão de 20% maior que a tensão nominal fase-terra ($1,2 \cdot V_n \cdot \sqrt{3}$). O equipamento passará no teste se não apresentar corona visual no laboratório em completa escuridão.

2.5. Ensaio de Elevação de Temperatura

Este ensaio é executado em corrente nominal. A elevação de temperatura de qualquer parte da chave não deve exceder os valores descritos na norma (Tabela 9-12).

2.6. Ensaio de Corrente de Curto-Circuito

As chaves devem ser ensaiadas na posição fechada e devem suportar termicamente a corrente de curto-circuito especificada durante 1 (um) segundo, além de suportar os esforços mecânicos devidos ao valor da corrente de crista que é 2,5 vezes o valor da corrente eficaz simétrica.

2.7. Ensaio de Estabelecimento de Curto-Circuito para Chaves de Aterramento Rápido

As chaves de aterramento rápido devem ser ensaiadas com correntes iguais ao valor da corrente suportável de curta duração, inclusive com o mesmo valor de crista. Caso não exista disponibilidade de equipamento que seja capaz de gerar as correntes de curto, opta-se por aumentar o tempo de duração do curto, mantendo a corrente constante.

2.8. Ensaio de Operação e Resistência Mecânica

Os ensaios mecânicos previstos para as chaves são:

2.8.1. Ensaio de zona de contato

O ensaio de zona de contato é utilizado para verificar o funcionamento correto dos seccionadores com suportes independentes para as diferentes posições do contato fixo dentro dos limites da zona de contato nominal. Esse ensaio aplica-se, por exemplo, a chaves pantográficas.

2.8.2. Ensaio de resistência mecânica

O ensaio de resistência mecânica, também chamado de ensaio de durabilidade mecânica para o caso do disjuntor, é utilizado para comprovar a resistência mecânica das chaves durante o período previsto de operação sem manutenção preventiva.

Este ensaio consiste na realização de 1.000 operações de fechamento e abertura, sem corrente e sem aplicação de esforço nos terminais da chave. Após o ensaio todas as partes da chave, devem estar em bom estado, inclusive os contatos.

2.8.3. Ensaio de funcionamento durante a aplicação de esforços mecânicos nos terminais

O ensaio de funcionamento durante aplicação de esforços mecânicos nos terminais é utilizado para verificar o funcionamento das chaves submetidas a diversos esforços mecânicos combinados, excetuando-se os esforços devidos ao vento e a forças eletromecânicas causadas pela corrente de falta.

3. ENSAIOS DE ROTINA

O objetivo desses ensaios é checar possíveis defeitos do material ou de montagem do equipamento.

Embora alguns ensaios sejam com aplicação de tensão, são considerados não destrutivos por respeitarem as especificações das normas e projeto. Não comprometem a qualidade do equipamento e são efetuados por amostragem.

3.1. Ensaio de Tensão Aplicada à Frequência Industrial

Este ensaio é executado em seccionadores e chaves de terra de três polos ou em polos separados. Geralmente, o ensaio na chave completa é exigido quando os três polos são montados em uma mesma base, enquanto, o ensaio em polos separados é permitido quando os polos não são montados em uma mesma base.

Este ensaio é realizado a seco com tempo de duração de 1 (um) minuto para as normas ABNT [16], IEC [25] e ANSI [26].

Na realização do ensaio é necessária apenas uma fonte monofásica de corrente alternada.

A tensão de frequência industrial é aplicada ao equipamento, para cada ensaio indicado na Tabela A1-2, aumentado seu valor até atingir a tensão nominal do equipamento. Esta tensão deve ser mantida em valor nominal por 1 (um) minuto. O ensaio terá resultado satisfatório se neste período (1 minuto) não apresentar nenhuma descarga para terra ou entre polos com a chave fechada e aberta.

A Tabela A1-2 indica a posição dos terminais das chaves em função do tipo de ensaio. No caso de chaves com lâminas de terra os ensaios deveram ser realizados com a lâmina aberta. Neste caso a ABNT [16] e a IEC [25] permitem apenas a realização dos ensaios #3, #4 e #5.

A ANSI [26] estabelece os ensaios #13 à #18 na chave aberta (*open gap withsand test*) aplicando-se a cada terminal uma tensão 10% superior ao da tensão fase-terra nominal a frequência industrial com os demais terminais da chave aterrados. Para as chaves de tensão nominal igual ou superior a 48,3 kV, a base da chave deve ser aterrada e dever ser adicionado um ou mais isoladores às colunas de porcelana da chave.

Nas chaves com tensão menor que 48.3 kV a base da chave deve ser levantada e isolada da terra por isoladores idênticos aos das colunas de porcelana.

Tabela A1-2 Esquemas de conexões [6]

Norma	Ensaio	Chave	Terminais energizados	Conexões aterradas
IEC [25] ABNT [16]	#1	Fechada	Aa Cc	BbT
	#2	Fechada	Bb	Aa Cc T
	#3	Fechada	Aa Bb Cc	T
	#4	Aberta	ABC	abc T
	#5	Aberta	abc	ABC T
ANSI [26]	#6	Fechada	Aa Bb Cc	T
	#7	Aberta	ABC	abc T
	#8	Aberta	Abc	ABC T
	#9	Fechada	Bb	Aa Cc T
	#10	Fechada	Aa ou Bb ou Cc	T
	#11	Aberta	A ou B ou C	aT ou bT ou cT
	#12	Aberta	a ou b ou c	AT ou BT ou CT
	#13	Aberta	A	aBbCc (T)
	#14	Aberta	B	AabCc (T)
	#15	Aberta	C	AaBbc (T)
	#16	Aberta	a	aBbCc (T)
	#17	Aberta	b	AabCc (T)
	#18	Aberta	c	AaBbc (T)

Notas:

1. Os ensaios #1 a #5 são aplicáveis para as chaves completas, mas podem ser substituídos por ensaios executados separadamente em cada polo da chave.
2. O ensaio #3 é substitutivo dos ensaios #1 e #2.
3. Os ensaios #6, #7, #8 e #9 são aplicáveis para as chaves completas com os 3 polos montados em uma base única.

4. Os ensaios #10, #11 e #12 são aplicáveis em apenas um dos polos da chave.
5. Os ensaios #13 a #18 são realizados com uma tensão 10% superior ao valor da tensão aplicada fase-terra. A base T é aterrada nos ensaios para as chaves com tensão menor que 48.3 kV.

3.2. Ensaio de Tensão Aplicada nos Circuitos Auxiliares e de Controle

Para este ensaio é aplicada uma tensão de 2000 V para as normas ABNT [16] / IEC [25] e 2500 V para a norma ANSI [26] por 1 (um) segundo. O ensaio terá resultado satisfatório se neste período (1 segundo) não apresentar nenhuma descarga para terra ou entre polos com a chave fechada e aberta.

3.3. Ensaio de Medição da Resistência do Circuito Principal

Este ensaio deve ser executado sob as mesmas condições que o tipo de ensaio correspondente (Ensaio de Medição de Resistência do Circuito Principal). E deve ser verificada uma resistência medida não superior a 1,2 RT (RT – resistência medida no ensaio de elevação de temperatura).

3.4. Ensaio de funcionamento mecânico (ABNT [16] e IEC [25])

Esse ensaio verifica se as lâminas principais e de terra fecham e abrem corretamente quando solicitadas por seus mecanismos de acionamento.

Este ensaio por dificuldades de montagem e desmontagem das chaves de EAT e UAT são feitos com rotina em chaves pequenas. Uma opção para as chaves de EAT e UAT seria apenas usar como ensaio de rotina, os ensaios do mecanismo de operação.

Os números de aberturas e fechamentos especificados são:

- Com tensão nominal do mecanismo de operação: 50
- Com tensão máxima do mecanismo de operação: 10
- Com tensão mínima do mecanismo de operação: 10

ANEXO 2 – TABELA ANSI [26]

Neste anexo será mostrada uma tabela utilizada pela ANSI [26] para a seleção da chave ideal de acordo com a tensão nominal, corrente nominal e a corrente de 3 segundos.

Essa tabela visa facilitar os estudantes na seleção das chaves pela norma ANSI.

Tabela A2-1 Tabela para seleção de chaves pela norma ANSI [26]

Preferred Ratings for Outdoor Air Switches of Various Constructions

Line Nº	Rated Max Voltage (kV rms)	Rated Withstand Voltage			Main Switch Continuous Current Rating, Amperes, rms												Radio Influence Test Voltage and Limits ‡	
		Impulse 1.2 x 50µs Wave kV crest	60 Hz kV rms		400	600	1200	1200	1600	2000	2000	3000	3000	3000	4000	Test Voltage kV †	Limit of Radio influence Voltage (microvolt at 1 megahertz)	
			Wet 10 seconds	Dry 1 minute	Momentary Asymmetrical Current Rating, thousands of Amperes, rms*													
					20	40	40	61	70	70	100	70	100	120	120			
					Construction Classification													
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)		
1	8.25	95	30	35	ACDFGH	ACDFGH	-	ADGH	-	H	A	-	-	AH	AH	5.0	**	
2	15.5	110	45	50	ACDFGH	ACDFGH	-	ADGH	-	H	A	-	-	AH	AH	9.4	**	
3	25.8	150	60	70	ACDFGH	ACDFGH	-	ADGH	-	H	A	-	-	AH	AH	15.7	**	
4	38.0	200	80	95	ABCDFGH	ABCDEF GH	-	ABDEGH	-	H	A	-	-	AH	AH	23.0	**	
5	48.3	250	100	120	-	ABDEGH	H	ABDEG	-	-	A	-	-	A	-	29.3	**	
6	72.5	350	145	175	-	ABDEGH	H	ABDEG	ABEG	-	ABE	-	-	A	-	44.0	**	
7	121	550	230	280	-	ABDEGH	DH	ABCE	ABEG	-	ABE	-	AB	-	-	73.4	**	
8	145	650	275	335	-	ABDEGH	DH	ABEG	ABEG	-	ABE	-	AB	-	-	88.0	**	
9	169	750	315	385	-	ABCDEG	DH	ABEG	ABEG	-	ABE	-	AB	-	-	102.5	**	
10	242§	900	385	465	-	G	-	G	ABEG	-	ABE	-	AB	-	-	147.0	**	
11	242§	1050	455	545	-	G	-	G	ABEG	AB	-	AB	-	-	-	147.0	**	
12	362§	1050	455	545	-	G	-	G	ABEG	AB	-	AB	-	-	-	220.0	**	
13	362§	1300	525	610	-	G	-	G	ABEG	ABJ	-	ABJ	-	-	-	220.0	**	
14	550§	1550	620	710	-	G	-	G	ABEG	ABJ	-	ABJ	-	-	-	340.0	**	
15	550§	1800	710	810	-	G	-	G	ABEG	ABJ	-	ABJ	-	-	-	340.0	**	
16	765§	2050	830	840	-	G	-	G	ABE	ABJ	-	ABJ	-	-	-	465.0	**	

Note: Grounding switches have no continuous current ratings but have momentary and three second ratings. Where grounding switches are applied to main switches, the momentary current ratings of the two are not necessary the same.

* Short-time current ratings include a momentary and a three second current rating based on test conditions described in section 5 of American National Standard C37.34-1971. divide the momentary rating by 1.6 to obtain the three second current rating. When a higher momentary current rating than shown is required, use a switch having the next

† The test voltage are 105 percent of the rated maximum line-to-neutral voltage.

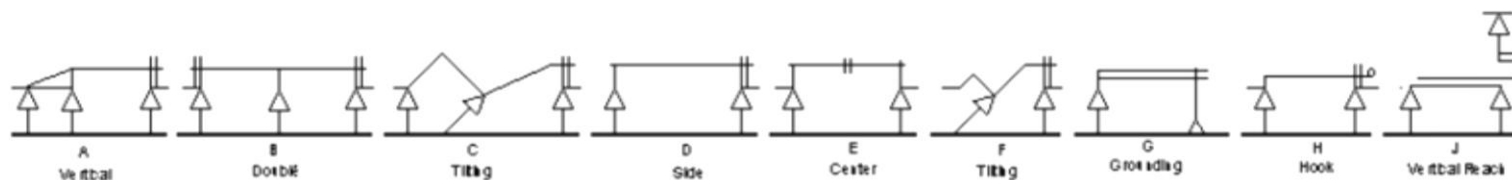
‡ See Section 3 of American National Standard C37.34-1971 of test procedure.

§ The switches listed in lines 10 through 16 are intended for application on systems effectively grounded as defined Neutral Grounding Devices, IEEE Publication Nº 32, May 1947.

** RIV limits are under study pending development of American National Standard on Methods of measurements of radio influence voltage on high-voltage apparatus.

†† If equipment of any given rated maximum voltage is used on circuit of a higher voltage rating, the radio influence voltage limits and the test voltage for the equipment shall be that corresponding to its rated maximum voltage.

Tabela CH21 - Preferred Ratings for Outdoor Air Switches of Various Constructions



ANEXO 3 – LAY-OUT DAS CAIXAS DOS CIRCUITOS DE CONTROLE

Neste anexo serão mostradas as vistas dos *LAY-OUTS* das caixas dos circuitos de controle com seus respectivos equipamentos.

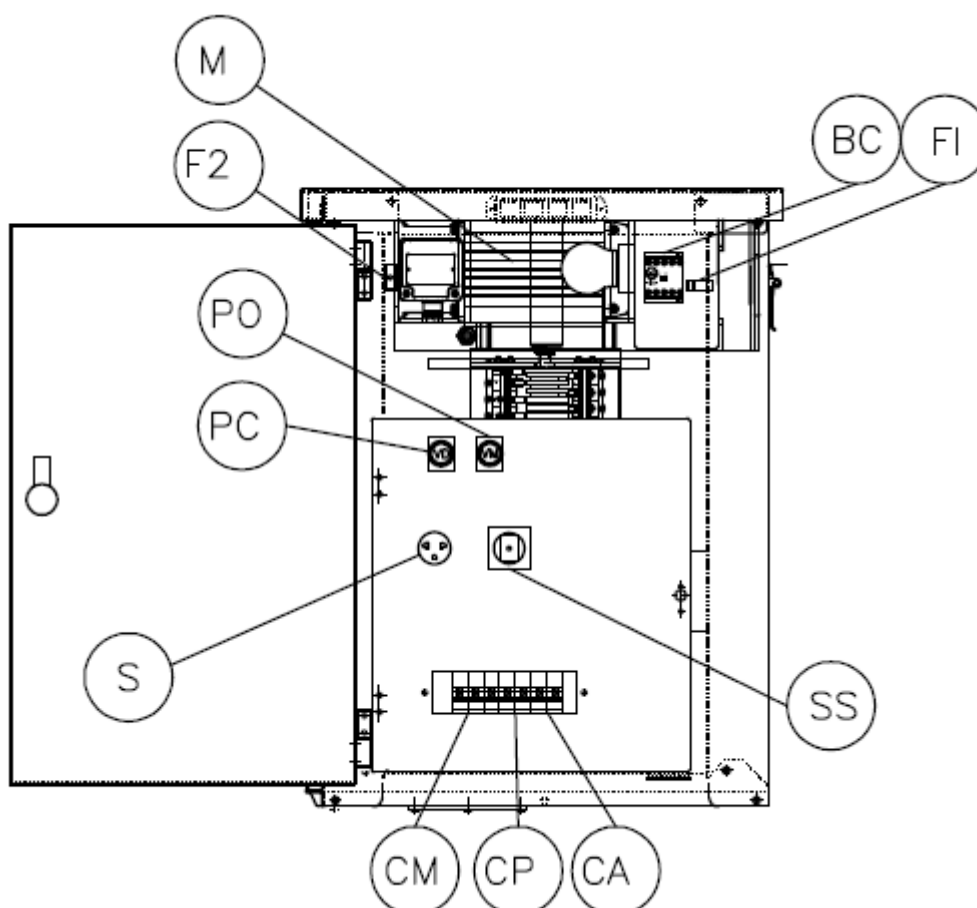


Figura A3-1 Vista frontal com a porta externa aberta [30]

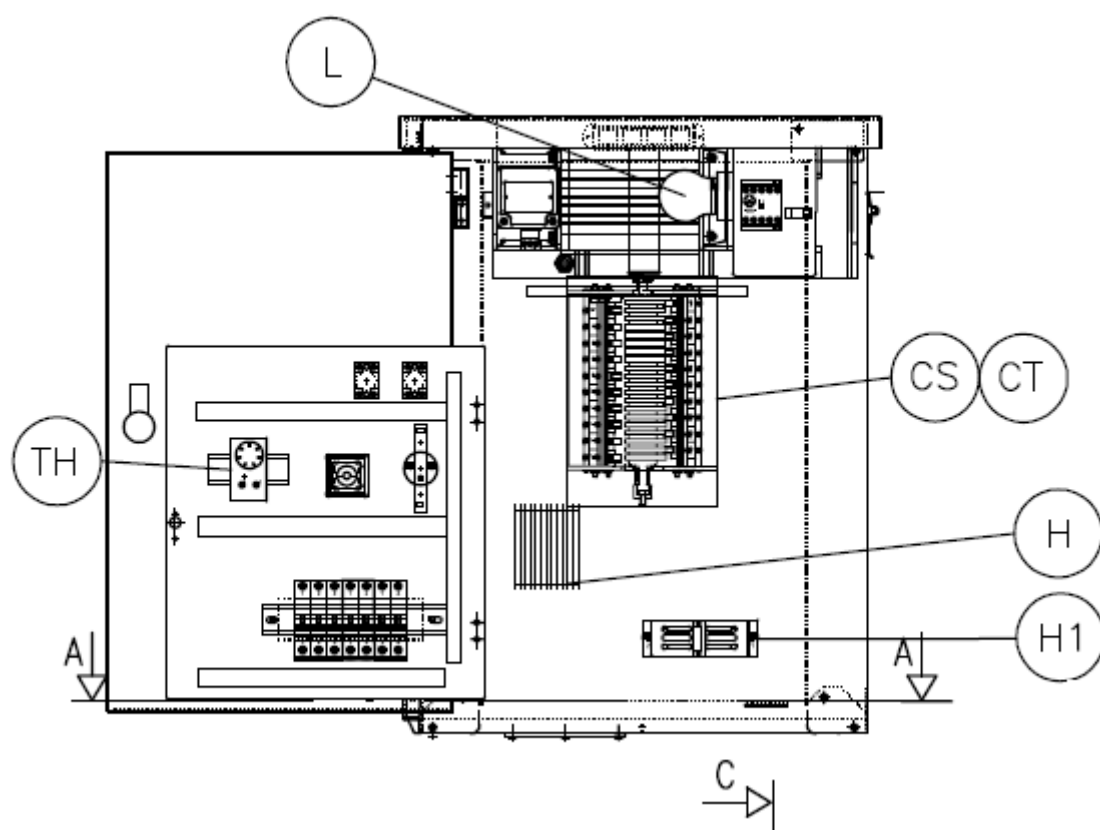


Figura A3-2 Vista frontal com a porta interna aberta [30]

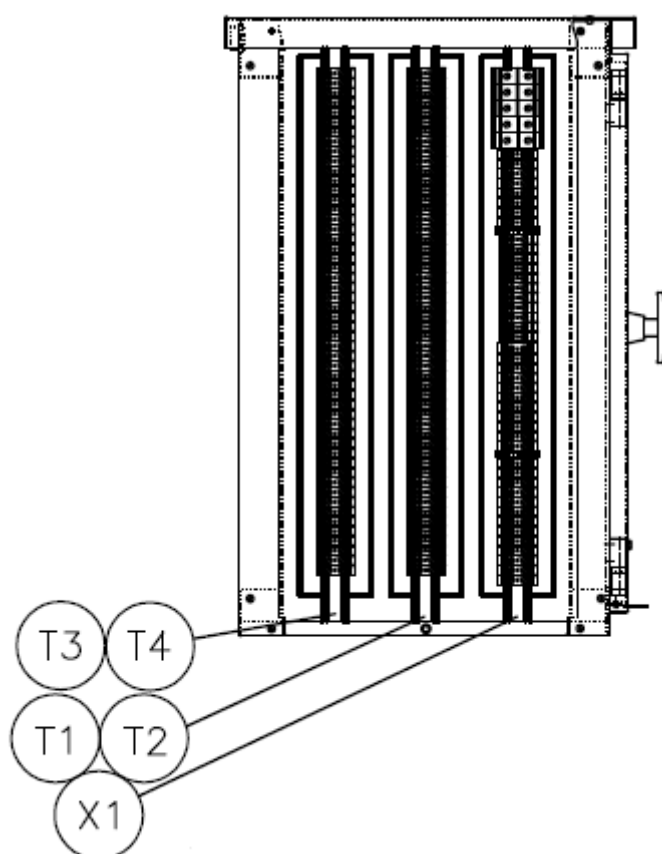


Figura A3-3 Vista lateral esquerda sem tampa de proteção [30]

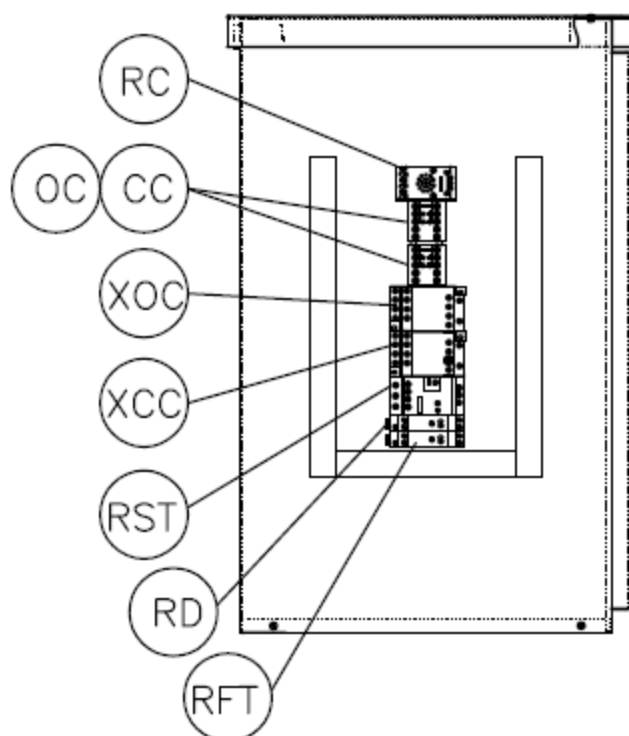


Figura A3-4 Corte C-C [30]